

SÉRIE A. N° 1199

N° D'ORDRE.
2067

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

Par M. Bernard LYOT

Aide-Astronome à l'Observatoire de Paris (section de Meudon)

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE DES
PLANÈTES ET DE QUELQUES SUBSTANCES TERRESTRES.

2^{ne} THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

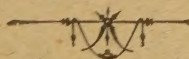
Soutenues le **18 JUIN** Juin 1929, devant la Commission d'Examen.

MM. A. COTTON, *Président.*

CH. FABRY,

G. BRUHAT,

} *Examineurs.*

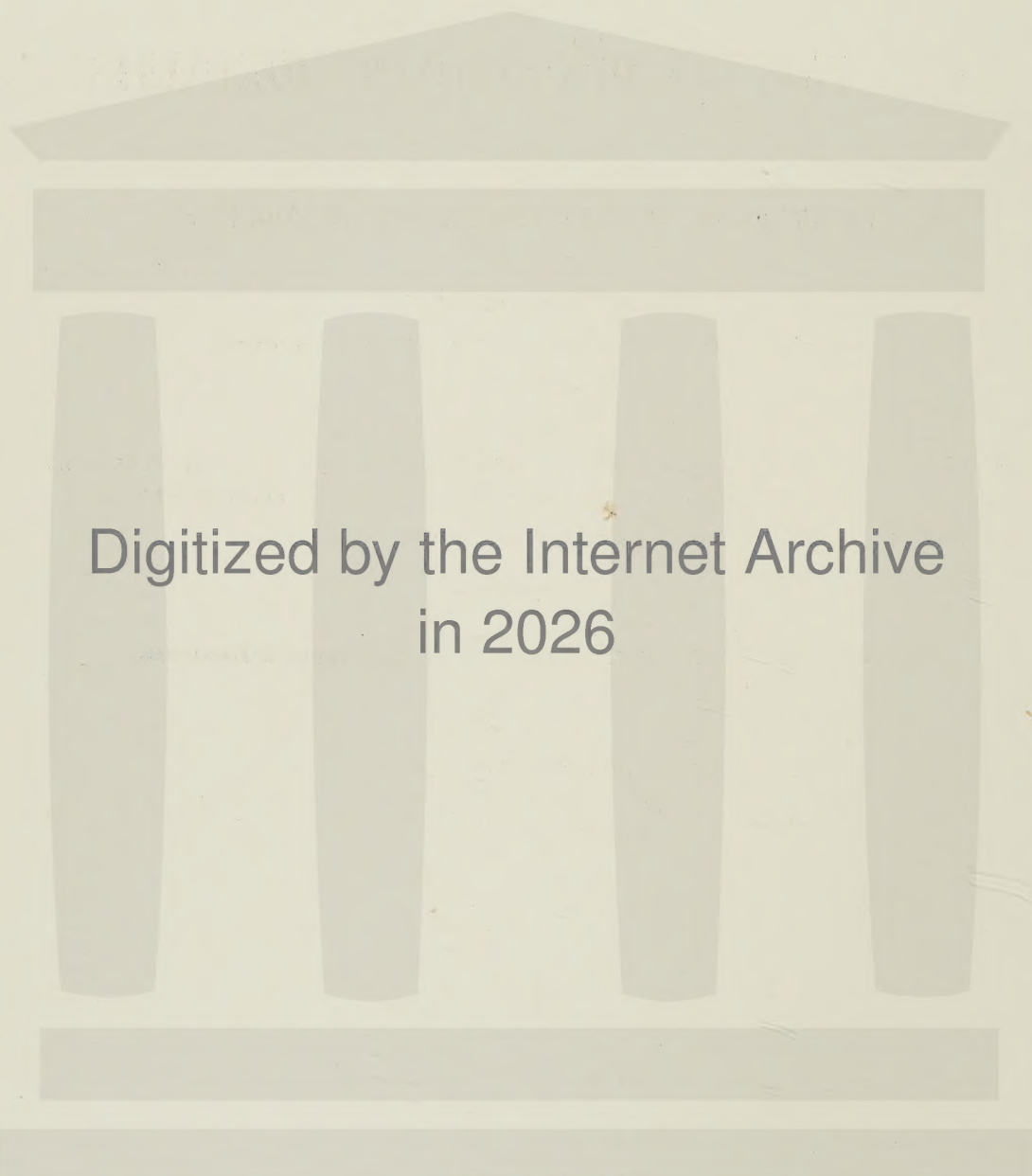


ORLÉANS

IMPRIMERIE HENRI TESSIER

8 bis et 8 ter, rue du Faubourg-Madeleine.

1929



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553818_0058

SÉRIE A. N° 1199

N° D'ORDRE
2067

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

Par M. Bernard LYOT

Aide-Astronome à l'Observatoire de Paris (section de Meudon)

1^{re} THÈSE. — RECHERCHES SUR LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE DES
PLANÈTES ET DE QUELQUES SUBSTANCES TERRESTRES.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

18 JUIN

Soutenues le Juin 1929, devant la Commission d'Examen.

MM. A. COTTON, *Président.*

CH. FABRY, }
G. BRUHAT, } *Examineurs.*



ORLÉANS

IMPRIMERIE HENRI TESSIER

8 bis et 8 ter, rue du Faubourg-Madeleine.

1929

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

Doyen G. MAURAIN, *Professeur*, Physique du globe.

Doyens honoraires ... P. APPELL; M. MOLLIARD.

Professeurs honoraires. {
V. BOUSSINESQ.
A. JOANNIS.
H. Le CHATELIER.
H. LEBESGUE.
A. FERNBACH.
A. LEDUC.
R. DONGIER.
E. HÉROUARD.

Professeurs {
EMILE PICARD Analyse supérieure et algèbre supérieure.
G. KÖNIGS Mécanique physique et expérimentale.
E. GOURSAT Calcul différentiel et calcul intégral.
P. JANET Electrotechnique générale.
F. WALLERANT Minéralogie.
H. ANDOYER Astronomie.
P. PAINLEVÉ Mécanique analytique et mécanique céleste.
Gabriel BERTRAND Chimie biologique.
M^{me} P. CURIE Physique générale et radioactivité.
M. CAULLERY Zoologie (Evolution des êtres organisés).
G. URBAIN Chimie générale.
Emile BOREL Calcul des probabilités et Physique mathématique.
L. MARCHIS Aviation.
Jean PERRIN Chimie physique.
RÉMY PERRIER Zoologie (Enseignement P. C. N.).
H. ABRAHAM Physique.
M. MOLLIARD Physiologie végétale.
E. CARTAN Géométrie supérieure.
L. LAPICQUE Physiologie générale.
E. VESSIOT Théorie des fonctions et théorie des transformations.
A. COTTON Physique générale.
J. DRACH Application de l'analyse à la géométrie.
Charles FABRY Physique.
Charles PÉREZ Zoologie.
Léon BERTRAND Géologie structurale et géologie appliquée.
R. LESPIEAU Théories chimiques.
E. RABAUD Biologie expérimentale.
P. PORTIER Physiologie comparée.
E. BLAISE Chimie organique.
P.-A. DANGEARD Botanique.
Paul MONTEL Mécanique rationnelle.
P. WINTREBERT Anatomie et histologie comparées.
O. DUBOSCQ Biologie maritime.
G. JULIA Mathématiques générales.
A. MAILHE Etude des combustibles.
L. LUTAUD Géographie physique et géologie dynamique.
Eugène BLOCH Physique théorique et physique céleste.
Henri VILLAT Mécanique des fluides et applications.
Ch. JACOB Géologie.
P. PASCAL Chimie appliquée.
N. Chimie minérale.
Léon BRILLOUIN Théories physiques.



F. PÉCHARD Chimie (Enseig ^t P. C. N.)	H. MOUTON Chimie physique.
V. AUGER Chimie analytique.	L. JOLEAUD Paléontologie.
M. GUICHARD Chimie minérale.	M. JAVILLIER Chimie biologique.
A. GUILLET Physique.	A. DUFOUR Physique (P. C. N.).
G. MAUGUIN Minéralogie.	F. PICARD Zoologie (Evolution des êtres organisés).
L. BLARINGHEM Botanique.	ROBERT-LÉVY Zoologie.
A. MICHEL-LÉVY Pétrographie.	L. DUNOYER Optique appliquée.
A. DEREIMS Géologie.	A. GUILLIERMOND Botanique (P. C. N.).
A. DENJOY Calcul différentiel et inté- gral.	A. DEBIERNE Radioactivité.
H. BÉNARD Physique (P. C. N.).	M. FRÉCHET Calcul des Probabilités et Physiques mathéma- tiques.
E. DARMOIS Physique.	
G. BRUHAT Physique.	

Secrétaire Daniel TOMBECK.

A Monsieur Henri DESLANDRES

Membre de l'Institut
Directeur de l'Observatoire de Paris

A Monsieur Charles FABRY

Membre de l'Institut
Directeur général de l'Institut d'Optique
Professeur à la Faculté des Sciences
et à l'École Polytechnique.

Hommage de respectueuse et profonde reconnaissance.



TABLE DES MATIÈRES

RECHERCHES SUR LA POLARISATION DE LA LUMIÈRE DES PLANÈTES ET DE QUELQUES SUBSTANCES TERRESTRES

PREMIÈRE PARTIE

RECHERCHES ASTRONOMIQUES

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE

Polarisation de la Lune. — Polarisation des planètes. — Etat actuel de la question.	3
--	---

CHAPITRE II

APPAREILS ET MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

<i>Caractéristiques de la lumière polarisée</i>	8
<i>Recherche d'un polarimètre approprié</i>	8
Polariscope d'Arago. — Photopolarimètre de Cornu. — Polariscope de Savart.	
<i>Nouveau polariscope</i>	10
Principe. — Avantages. — Construction.	
<i>Nouveau polarimètre</i>	12
Principe. — Sensibilité. — Construction. — Fonctionnement. — Détermination du plan de polarisation. — Mesure de la proportion de lumière polarisée. — Autre méthode donnant simultanément ces deux quantités. — Etude de la polarisation elliptique. — Précision des mesures. — Calcul de la proportion de lumière polarisée. — Etalonnage du polarimètre.	
<i>Instruments employés</i>	23
Grande lunette. — Petite lunette. — Télescope.	
<i>Causes diverses d'erreur</i>	25
Polarisation marginale. — Polarisation atmosphérique.	
<i>Compensation de la polarisation atmosphérique</i>	27
Premier dispositif. — Deuxième dispositif. — Précision des mesures. — Précautions à prendre. — Compensation automatique de la polarisation atmosphérique.	

CHAPITRE III

POLARISATION DE LA LUMIÈRE DES PLANÈTES

Généralités.

<i>Conditions d'éclairement</i>	32
<i>Calcul de l'angle de vision</i>	33
Cas d'une planète. — Cas de la Lune. — Cas des éclipses de Lune.	
<i>Calcul de l'angle de position du plan de vision</i>	36
<i>Représentation des résultats</i>	37
<i>Etude de la lumière solaire</i>	37

La Lune.

<i>Conditions d'observation</i>	38
<i>Polarisation de la lumière générale de la Lune</i>	38
Dispositif expérimental. Plan de polarisation. — Proportion de lumière polarisée.	
<i>Etude régionale</i>	43
Plan de polarisation. — Proportion de lumière polarisée.	
<i>Polarisation par diffusion oblique</i>	46
<i>Polarisation elliptique</i>	46

Mercure.

<i>Conditions d'observation</i>	48
<i>Observations effectuées</i>	49
<i>Lumière générale</i>	49

Mars.

<i>Conditions d'observation</i>	51
<i>Observations effectuées</i>	51
Première période (1922). — Seconde période (1924-1925). — Troisième période (1926).	
<i>Régions centrales</i>	52
Observations de 1922. — Observations de 1924-1925. — Observations de 1926.	
<i>Etude régionale</i>	54
Mers et terres. — Calotte polaire australe. — Terminateur et limbe. — Nébulosités diverses.	
<i>Polarisation par diffusion oblique</i>	61

Vénus.

<i>Conditions d'observation</i>	62
<i>Observations effectuées</i>	63
<i>Lumière générale</i>	64
Plan de polarisation. — Proportion de lumière polarisée.	
<i>Etude régionale</i>	68
Pleine phase. — Cornes, plan de polarisation. — Cornes, proportion de lumière polarisée.	
— Limbe et terminateur.	

Jupiter.

Conditions d'observation	71
<i>Régions centrales</i>	72
<i>Bandes</i>	74
<i>Bords Est et Ouest</i>	76
<i>Calottes polaires</i>	76
Phénomène général. — Plan de polarisation. — Proportion de lumière polarisée. — Variation de la proportion de lumière polarisée avec la latitude. — Etendue de la polari- sation anormale. — Polarisation maximum.	

Saturne.

Conditions d'observation	79
<i>Régions centrales</i>	80
<i>Zones et bandes</i>	81
<i>Calottes polaires</i>	84
<i>Calotte polaire Nord</i>	84
Plan de polarisation. — Etendue des régions intéressées et proportion de lumière pola- risée.	
<i>Hémisphère Sud</i>	85

Anneaux de Saturne.

Premières mesures	86
<i>Anneau intérieur (B)</i>	89
Plan de polarisation. — Proportion de lumière polarisée.	
<i>Anneau extérieur (A)</i>	90
Plan de polarisation. — Proportion de lumière polarisée.	

DEUXIÈME PARTIE

RECHERCHES EN LABORATOIRE

INTRODUCTION	93
--------------------	----

CHAPITRE IV

HISTORIQUE

<i>Polarisation par les solides</i>	94
Etude générale. — Minéraux.	
<i>Polarisation par les milieux troubles</i>	97
<i>Etat actuel de la question</i>	98

CHAPITRE V

DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

<i>Dispositif général</i>	100
Construction. — Double lame dépolarisante. — Disposition de la substance.	
<i>Etude de la lumière diffusée très près de la source</i>	103

CHAPITRE VI

RÉSULTATS OBTENUS SUR LES SUBSTANCES TERRESTRES

Poudres transparentes homogènes.

Influence de l'indice. — Influence de la forme des grains. — Influence de l'absorption des grains. Neiges.	105
---	-----

Minéraux.

<i>Roches sédimentaires</i>	112
Craie. — Argiles. — Sables.	
<i>Roches ignées</i>	116
Roches présentant la réflexion métallique. — Granits et porphyres. — Basalte. — Grès quartzeux. — Grès rouge. — Laves. — Cendres volcaniques.	
<i>Causes de la polarisation négative</i>	122
<i>Lumière diffusée dans la direction de la source</i>	123

Etude des milieux troubles.

<i>Nuages de gouttelettes d'eau, transparents</i>	125
Influence du diamètre des gouttes. — Grosses gouttes. — Gouttes d'environ 300 μ . — Gouttes d'environ 35 μ . — Gouttelettes d'environ 5 μ . — Très fines gouttelettes.	
<i>Brouillards de glace, transparents</i>	134
<i>Nuages de gouttelettes, opaques</i>	135
Influence de l'épaisseur.	

TROISIÈME PARTIE

CHAPITRE VII

ESSAIS D'INTERPRÉTATION DES PHÉNOMÈNES OBSERVÉS SUR LES PLANÈTES

<i>Introduction</i>	139
---------------------------	-----

La Lune.

<i>Sol</i>	140
------------------	-----

Mercure.

<i>Sol</i>	142
<i>Atmosphère</i>	143
<i>Nuées</i>	145

Mars.

<i>Sol</i>	147
<i>Atmosphère</i>	148
<i>Nuées</i>	150
Brumes générales. — Nuages locaux.	

Vénus.

<i>Nuées</i>	150
<i>Atmosphère</i>	152

Jupiter.

<i>Nuages</i>	153
<i>Atmosphère</i>	153

Saturne.

<i>Nuages</i>	154
<i>Atmosphère</i>	154

Anneaux de Saturne.

<i>Anneau intérieur (B)</i>	155
<i>Anneau extérieur (A)</i>	155

CONCLUSION	159
<i>Résultats nouveaux</i>	160

PREMIÈRE THÈSE

RECHERCHES

SUR LA

POLARISATION DE LA LUMIÈRE DES PLANÈTES

ET DE

QUELQUES SUBSTANCES TERRESTRES

PREMIÈRE PARTIE

RECHERCHES ASTRONOMIQUES

INTRODUCTION

Les planètes ont été étudiées jusqu'à nos jours à l'aide de deux méthodes :

1^o L'observation des détails sur leur surface, effectuée directement à l'oculaire ou grâce à l'intermédiaire de la plaque photographique.

2^o L'analyse des radiations qu'elles nous envoient, considérées du point de vue de leurs intensités, de leurs diverses longueurs d'onde ou de leur état de polarisation.

L'observation des détails planétaires commença avec l'invention des lunettes et fournit peu à peu des résultats qui furent confirmés récemment, dans leurs grandes lignes, par la photographie.

L'analyse spectrale, la photométrie et l'étude de la polarisation furent appliquées aux planètes plus tardivement :

L'analyse spectrale et la photométrie permirent bientôt d'obtenir des données intéressantes concernant leurs mouvements de rotation et, tout dernièrement, des premières indications sur leurs températures et leurs atmosphères.

L'étude de la polarisation semblait pleine de promesses au temps d'Arago,

mais, depuis lors, elle n'avait donné, sur les planètes, aucun résultat positif certain.

Ce fait paraît très surprenant si l'on remarque les polarisations variées que présente la lumière diffusée par les objets divers dont nous sommes environnés. C'est pourquoi j'ai entrepris, sur cette question, les recherches qui font l'objet du présent travail.

Ce travail est divisé en trois parties :

La première est relative à l'étude des planètes; elle comprend trois chapitres :

1^o Le premier résume les observations effectuées jusqu'à nos jours.

2^o Le second décrit les appareils et les méthodes expérimentales.

3^o Le troisième expose les résultats obtenus.

La deuxième partie est relative à l'étude de la lumière diffusée par des substances terrestres; elle est disposée suivant le même plan que la première.

Dans la troisième partie, je cherche à expliquer les résultats obtenus sur les planètes en les comparant à ceux que donnent les substances terrestres; à mettre, ensuite, en lumière les conséquences que ces résultats entraînent et à dégager, enfin, quelques conclusions de l'ensemble de cette étude.

Les observations astronomiques dont il sera fait mention ont pu être réalisées, en grande partie, à l'Observatoire de Meudon, grâce à l'obligeance de M. Deslandres qui a bien voulu mettre la grande lunette à ma disposition. Je tiens à lui en exprimer toute ma reconnaissance

CHAPITRE PREMIER

HISTORIQUE

Polarisation de la Lune. — Les premiers travaux sur la polarisation des corps célestes remontent à plus d'un siècle ; ils portèrent d'abord sur la Lune, en raison de son grand diamètre apparent.

En 1811, Arago effectua huit observations sur ce satellite avec son polariscope constitué par un prisme biréfringent précédé d'une lame parallèle en quartz. Il trouva une polarisation plus forte sur les mers que sur les terres et passant par un maximum vers le premier quartier pour devenir insensible trois ou quatre jours avant l'opposition ⁽¹⁾. Il expliquait les variations de la polarisation suivant l'âge de la Lune et suivant la teinte du sol en admettant que cet astre est entouré d'une atmosphère semblable à la nôtre et « réfléchissant la lumière ».

Ces observations furent confirmées en 1859, puis précisées et complétées, en 1860, par Secchi.

Nous lui devons les remarques suivantes ⁽²⁾ :

Le plan de polarisation est celui de la réflexion et la proportion de lumière polarisée est presque indépendante des inclinaisons variées de la surface, « on trouve seulement une petite différence entre le bord éclairé et la portion qui est près du bord de l'ombre ».

Secchi abandonne l'hypothèse d'une atmosphère lunaire et attribue les polarisations observées au sol même de la Lune. Ce sol aurait une surface miroitante « dans laquelle on trouvera toujours un petit plan convenablement incliné pour renvoyer une même proportion de lumière polarisée sous l'angle général de réflexion des rayons ».

Les travaux qui suivirent ont eu pour objet de déterminer la nature des roches dont ce sol est constitué.

En 1877, Lord Rosse étudia, avec un polarimètre différant peu de celui d'Arago, les variations de la polarisation sur diverses parties de la surface lunaire,

⁽¹⁾ ARAGO, *Œuvres*, t. 10, p. 564. *Astronomie populaire*, t. 3, p. 463.

⁽²⁾ SECCHI. *Monthly notices*, t. 19, 1859, p. 290. *Astronomische Nachrichten*, t. 52, 1860, p. 93.

afin d'obtenir l'angle pour lequel cette polarisation est maximum et de comparer à celui de matières volcaniques vitreuses.

D'après les chiffres qu'il a publiés ⁽¹⁾, la proportion de lumière polarisée de la mer des Crises passe par un maximum lorsque la Lune est à 88° du Soleil ; elle atteint alors 12 p. 100. Après le premier quartier, elle décroît d'abord très rapidement, ensuite plus lentement, pour devenir insensible au voisinage de la pleine Lune.

Il ne tira aucune conclusion de ces résultats parce qu'il manquait de données relatives à des roches terrestres.

En 1889, Landerer ⁽²⁾ chercha à résoudre le même problème avec un photopolarimètre de Cornu, en étudiant, au lieu d'un point déterminé, la polarisation moyenne des régions centrales du croissant.

Il obtint des valeurs moins fortes au premier quartier qu'au dernier, ce qu'il expliquait par la moins grande étendue des mers éclairées lors du premier quartier. Ses mesures lui donnèrent, pour les mers lunaires, un angle de polarisation maximum de 33°17' correspondant à une distance angulaire entre le Soleil et la Lune de 113°26', très différente de celle qu'avait trouvée Lord Rosse. La proportion de lumière polarisée maximum était de 20,7 p. 100 vers le premier quartier et de 32,9 p. 100 vers le dernier ⁽³⁾.

Il étudia de même de la glace et diverses roches volcaniques polies ⁽⁴⁾ et trouva pour l'une d'entre elles, le vitrophyre, un angle de polarisation égal à celui de la Lune.

La surface lunaire lui paraissait devoir contenir cette roche en grande abondance et ne pas être recouverte de glace.

Ces conclusions ne furent pas considérées comme définitives, car les mesures de polarisation sont trop peu précises pour permettre de déterminer l'angle de polarisation de la Lune d'une manière satisfaisante.

En 1922, Salet ⁽⁵⁾ montra que l'angle de polarisation maximum d'une roche varie avec le degré de poli de sa surface. Il jugea impossible, pour cette raison, de déduire, d'observations telles que celles de Lord Rosse, l'angle de polarisation du sol lunaire. Les mesures de Landerer ont, par contre, l'inconvénient de se rapporter à des régions variables qui peuvent polariser diversement la lumière.

(1) LORD ROSSE. *Proceedings of Royal Dublin Society*, t. 1, 1878, p. 19 ; article reproduit dans de nombreuses publications.

(2) LANDERER. *Comptes rendus*, t. 109, 1889, p. 360.

(3) Ces chiffres élevés s'accordent très mal avec les observations de Lord Rosse. Les mesures de cet astronome laissaient, en effet, prévoir que, sur une région couvrant à la fois des terres et des mers, la proportion de lumière polarisée ne saurait guère dépasser 12 p. 100.

(4) LANDERER. Sur la polarisation des roches ignées. *Comptes rendus*, t. 111, 1890, p. 210.

(5) SALET. *L'Astronomie*, 1922, p. 408.

Enfin, tout dernièrement, au cours d'un travail postérieur à mes recherches Barabascheff ⁽¹⁾ a mesuré, avec un photopolarimètre de Cornu, la proportion de lumière polarisée des terres et celle des mers, pour les comparer à celles de roches terrestres ayant à peu près le même albédo.

Il trouva sur les mers un maximum effacé de 47,2 p. 100 correspondant à un angle de polarisation compris entre 33°57' et 37°11'. Sur les terres, le maximum était de 17 p. 100. Les conclusions de Landerer lui paraissent très douteuses à cause de la « forme effacée » du maximum. En comparant la courbe lunaire à celles qu'il a déterminées sur de nombreuses roches terrestres, il estime que la Lune doit être couverte de corps sablonneux.

Ces travaux paraissent se contredire et donner des résultats très différents suivant la méthode et l'instrument employés. Le polarimètre de Cornu accuse des valeurs bien plus élevées que celui d'Arago, d'après les chiffres donnés par Landerer et surtout par Barabascheff qui valent, pour les mers, environ quatre fois ceux de Lord Rosse.

Quelques résultats curieux ont été obtenus au cours des éclipses de Lune.

Pendant l'éclipse du 31 mai 1844, Arago ⁽²⁾ a observé des « *traces manifestes de polarisation* » dans la « lumière rougeâtre répandue sur le disque lunaire au moment de la conjonction ». L'existence en a été confirmée par tous ses collaborateurs.

Pendant l'éclipse du 24 novembre 1844, Zantedeschi ⁽³⁾ fit une observation analogue.

Pendant celle du 27 février 1877, Freeman ⁽⁴⁾, examinant la Lune à travers un prisme à double image placé à l'oculaire d'une lunette de 0^m,087 d'ouverture, observa, en faisant tourner le prisme, des variations complémentaires d'intensité des deux images de la Lune, dont la période était de 180°, indice manifeste de polarisation. Cependant il ajoute : « Il était impossible de déterminer le caractère de cette polarisation. »

Aucun de ces auteurs n'indique, d'autre part, quelle était la direction du plan de polarisation.

Pendant l'éclipse du 31 mai 1920, Salet ⁽⁵⁾ examina la Lune à travers un polariscope de Savart à franges serrées ; il n'a pas trouvé trace de polarisation dans les différentes parties de l'ombre. Les résultats des premières observations lui semblent difficiles à admettre.

(1) BARABASCHEFF. *Astronomische Nachrichten*, t. 229, 1927, p. 7.

(2) ARAGO. *Comptes rendus*, t. 18, 1844, p. 1119.

(3) ZANTEDESCHI. *Comptes rendus*, t. 19, 1844, p. 1318.

(4) FREEMAN. *Nature*, t. 15, 1877, p. 398.

(5) SALET. *L'Astronomie*, juin 1920, p. 256.

Polarisation des planètes. — Les planètes ont fait aussi l'objet de recherches, sans qu'aucun résultat positif certain ait été obtenu.

En 1859, Secchi ⁽¹⁾ écrit : « La pleine Lune n'est pas du tout polarisée, Jupiter, Saturne et Mars ne sont pas plus polarisés que nos nuages, en d'autres termes la polarisation est insensible. »

Cependant Lord Rosse ⁽²⁾, à la suite d'une série de mesures effectuées sur Vénus, du 12 mars au 6 avril 1872, avec un polarimètre analogue à celui d'Arago, a trouvé, pour cette planète, une faible polarisation, « de laquelle aucune variation régulière n'a été perçue au cours des observations, bien que le changement de phase qui s'est produit pendant cet intervalle ait été considérable ».

La valeur moyenne de cette polarisation, définie par le rapport des composantes polarisées parallèlement et perpendiculairement au plan passant par le Soleil, était de 0,925, ce qui correspond à une proportion de lumière polarisée de 3,9 p. 100.

La direction du plan de polarisation n'est pas spécifiée clairement, mais les notations employées indiquent qu'il est le même que pour la Lune, parallèle à la direction du Soleil.

Par contre, en 1892, Landerer ⁽³⁾ effectua une série de mesures presque quotidiennes sur Vénus, depuis le 29 avril (époque de la plus grande élongation du soir) jusqu'au 8 juin, « pour mesurer son angle de polarisation, partant pour en déduire la nature pétrographique de son sol ». Il se servit d'un photopolarimètre de Cornu adapté à une lunette de 0^m,135. « De ces recherches, il résulte que la lumière provenant du croissant de Vénus n'est pas polarisée. » L'auteur en conclut que la surface de cette planète est constituée par une couche épaisse de nuages, conformément aux idées de Trouvelot, basées sur des observations visuelles.

En 1894, W. H. Pickering ⁽⁴⁾ annonça qu'il avait observé, le 4 juin, à l'aide d'un polariscope d'Arago, une zone sombre, bordant la calotte polaire de Mars, qui offrait des signes de polarisation. A sa présentation suivante, cette région ne montrait plus aucune trace de polarisation.

Il en déduisit que cette zone était une surface liquide, réfléchissant la lumière diffusée par les nuages des régions polaires.

Enfin, en 1906, Salet ⁽⁵⁾ étudia la polarisation de Mercure avec l'équatorial de la tour Est de l'Observatoire de Paris, muni d'un grossissement de 600. Il utilisa d'abord un polariscope du genre de celui d'Arago qui a l'avantage d'être insensible à la polarisation atmosphérique, puis un polariscope de Savart à franges

(1) SECCHI. *Monthly notices*, t. 19, p. 290.

(2) LORD ROSSE. *Proceedings of the royal Dublin Society*, t. 1, 1878, p. 19.

(3) LANDERER. *Comptes rendus*, t. 114, 1892, p. 1524.

(4) PICKERING. *Astronomy and Astrophysics, The Sideral Messenger*, t. 13, 1894, p. 554.

(5) SALET, *Comptes rendus*, t. 143, 1906, p. 1125. *Thèse*, 1910, p. 50.

très serrées, de manière à avoir au moins trois bandes sur la planète. Il prit soin, dans le second cas, d'observer à travers un verre rouge afin d'atténuer la polarisation atmosphérique, lorsque Mercure était suffisamment loin de l'horizon pour que les images ne soient pas mauvaises.

Aucun de ces deux procédés ne montra de polarisation sur Mercure. L'auteur estime, cependant, que cette planète doit avoir une constitution analogue à celle de la Lune, ainsi que l'indique son faible albédo. Les observations précédentes, répétées sur la Lune vue à l'œil nu, lui donnèrent un résultat négatif, prouvant ainsi que la polarisation de Mercure a pu lui échapper à cause de la petitesse du disque de cette planète.

Etat actuel de la question. — En fin de compte, les travaux résumés dans ce chapitre ont donné très peu de résultats positifs certains.

Pour la Lune, nous savons à peu près comment varie sa polarisation autour du premier quartier, mais il nous est impossible d'en fixer la valeur, même d'une manière grossièrement approximative. Il semble donc prématuré d'établir, avec ces données, la nature des roches qui forment le sol lunaire.

Les observations d'éclipses indiqueraient des polarisations assez fortes, si l'on en juge par le peu de sensibilité que possèdent les polarimètres, employés sur des sources d'éclat aussi faible que la Lune éclipsée ; elles sont malheureusement trop vagues pour conduire à une explication.

Quant aux planètes, la polarisation trouvée sur Vénus par Lord Rosse n'a pas été confirmée par les mesures de Landerer. L'observation faite par Pickering sur Mars n'a pu être vérifiée ; enfin, les mesures sur Mercure, Jupiter et Saturne n'ont donné que des résultats négatifs.

Les polarimètres utilisés pour ces observations peuvent, dans de bonnes conditions, déceler jusqu'à 1 p. 100 de lumière polarisée. On serait tenté d'en déduire que la polarisation des planètes est inférieure à 1 p. 100, mais une telle conclusion, loin d'être certaine, est même peu probable pour Mercure, comme l'a montré Salet. Dans ces conditions, j'ai jugé utile de reprendre entièrement et avec un appareil plus sensible, les travaux qui viennent d'être résumés.

Cette thèse a pour principal objet de décrire les méthodes employées pour atteindre ce but, puis d'exposer et, autant que possible, d'expliquer les résultats obtenus sur la Lune et sur les cinq premières planètes.

CHAPITRE II

APPAREILS ET MÉTHODES EXPÉRIMENTALES

CARACTÉRISTIQUES DE LA LUMIÈRE POLARISÉE

Rappelons, tout d'abord, les quantités que nous pouvons être amenés à mesurer pour définir une lumière partiellement polarisée quelconque.

Un faisceau quelconque de lumière partiellement polarisée peut être considéré comme résultant du mélange d'un faisceau de lumière naturelle et d'un faisceau de lumière totalement polarisée dont la vibration est, soit rectiligne, soit elliptique.

La proportion de lumière polarisée est le rapport du flux de lumière totalement polarisée au flux lumineux de l'ensemble du faisceau.

Le plan de polarisation, défini par l'angle qu'il fait avec une direction connue, est un plan passant par la direction des rayons lumineux et normal, soit à la vibration lumineuse si celle-ci est rectiligne, soit au grand axe de l'ellipse qu'elle décrit, si celle-ci est elliptique.

Dans le deuxième cas, il faut définir en outre :

L'ellipticité ou rapport du petit axe au grand axe.

Le sens dans lequel l'ellipse est décrite : d'après les conventions classiques, l'ellipse sera dite gauche ou droite, suivant que l'observateur qui reçoit la lumière voit tourner le vecteur lumineux dans le sens trigonométrique ou dans le sens inverse.

RECHERCHE D'UN POLARIMÈTRE APPROPRIÉ

L'analyse de la lumière des planètes exige l'emploi d'un polarimètre adapté principalement à l'étude de lumières rectilignes, très faiblement polarisées.

Trois appareils permettent cette étude : le polariscope d'Arago, le photopolarimètre de Cornu et le polariscope de Savart. Nous allons examiner les avantages et les inconvénients qu'ils présentent en vue du but que nous nous proposons.

Polariscope d'Arago. — Le polariscope imaginé par Arago est formé d'un prisme à double image que précède une lame de quartz taillée parallèlement à l'axe optique et suffisamment mince pour présenter des couleurs très vives en lumière polarisée. Il peut être adapté facilement devant l'oculaire d'une lunette et il donne, dans ces conditions, deux images de la planète que l'on étudie, teintées de couleurs complémentaires si la lumière de celle-ci est polarisée.

Il se prête aisément aux observations diurnes, car la lumière du ciel donne un fond blanc dans la région centrale du champ, quelle que soit sa polarisation. Lorsqu'on mesure la polarisation d'une planète en la compensant, comme le faisait par exemple Arago, au moyen d'une pile de glaces, la lumière du ciel n'introduit aucune erreur systématique : elle diminue simplement la précision des mesures.

La plus petite proportion de lumière polarisée que l'on puisse déceler avec cet appareil est d'environ 1,2 p. 100 (chiffre indiqué par Arago). Avec des polarisations plus faibles, les couleurs sont trop lavées de blanc pour qu'on puisse les distinguer. Cette limite devient beaucoup plus élevée lorsque l'œil est fatigué et lorsque l'objet que l'on observe n'a pas un éclat et une teinte uniformes.

D'autre part, ce polariscope se prête mal à des mesures précises : lorsqu'on cherche à annuler la polarisation en faisant tourner une pile de glaces, l'instant où les teintes cessent d'être différentes est mal défini et, lorsque la compensation exacte est réalisée, l'œil voit, pendant un instant, les images teintées des couleurs complémentaires de celles qu'il vient d'observer. Ces inconvénients m'ont fait renoncer à son emploi.

Photopolarimètre de Cornu. — Cet appareil comporte un diaphragme percé d'une ouverture rectangulaire que l'on éclaire au moyen de la lumière à étudier. Un prisme biréfringent donne deux images contiguës de l'ouverture, dont on peut faire varier les éclats respectifs avec un nicol.

Puisque l'œil permet de différencier deux sources étendues lorsque leurs brillances diffèrent de plus de 1 p. 100, il doit être possible d'égaliser, avec cette précision, les brillances des plages du photopolarimètre de Cornu et de déceler ainsi, avec cet appareil, des proportions de lumière polarisée descendant jusqu'à 1/2 p. 100.

On peut, en effet, obtenir ce résultat en laboratoire, mais il faut pour cela éliminer avec soin les erreurs systématiques principales qui apparaissent :

1^o Lorsque l'œil de l'observateur n'est pas bien centré sur la pupille de l'appareil (les deux faisceaux issus du biréfringent, séparés à leur entrée dans l'œil subissent alors des absorptions inégales).

2^o Lorsque l'ouverture du polarimètre n'est pas éclairée d'une façon tout à fait uniforme. Dans le cas des planètes, cette dernière condition est à peu près irréa-

lisable dès que les images sont un peu agitées et la sensibilité de l'appareil est très inférieure à sa valeur théorique.

Ces inconvénients, joints à la nécessité d'isoler, au moyen d'un diaphragme, la région que l'on veut étudier, rendent l'appareil de Cornu impropre au but proposé.

Polariscope de Savart. — Le polariscope de Savart est formé de deux lames de quartz taillées à 45 degrés de l'axe optique. Ces lames sont superposées de manière que leurs sections principales soient rectangulaires et elles sont suivies, soit d'un nicol, soit d'une tourmaline qui sert d'analyseur.

Le polariscope de Savart, fixé, comme celui d'Arago, devant l'oculaire d'une lunette, donne des franges rectilignes à l'infini qui paraissent se former sur la planète.

Il est plus sensible : si l'on fait croître la proportion de lumière polarisée, les franges apparaissent dès que cette proportion atteint 1 p. 100 et leur visibilité augmente rapidement.

Cette dernière propriété permet, comme nous le verrons un peu plus loin, de réaliser un polarimètre très sensible.

NOUVEAU POLARISCOPE

Après avoir fixé mon choix sur un polariscope du genre Savart, j'ai d'abord cherché à perfectionner cet appareil en m'aidant des considérations suivantes :

Pour que la visibilité des franges sur une source telle qu'une planète atteigne sa valeur maximum, il faut que l'on puisse observer simultanément au moins trois ou quatre franges. Celles-ci doivent, par conséquent, être fines sans que leur écartement descende cependant au-dessous de 6 à 8 minutes.

Il faut, de plus, que l'image de la source, sur laquelle se forment les franges, ait une brillance apparente suffisante, au moins égale à quelques millièmes de bougie par centimètre carré ⁽¹⁾. Le polariscope doit donc être aussi lumineux que possible, afin de permettre l'emploi de forts grossissements et l'étude de petites parties de la surface d'une planète.

Ces remarques m'ont conduit à réaliser l'appareil que je décris ci-dessous.

Principe. — Cet appareil est constitué par deux lames de spath identiques, taillées parallèlement à un plan de clivage et dont les sections principales sont croisées. Il possède, comme analyseur, un prisme biréfringent spath-verre dont la section principale est bissectrice de celles des lames.

(¹) M. L. Santon est arrivé à des conclusions analogues, — Diplôme d'études supérieures, 1928.

Lorsqu'on examine à travers un tel ensemble une source de lumière polarisée dans un plan bissecteur des sections principales des lames, l'image ordinaire et l'image extraordinaire, données par le biréfringent, contiennent chacune un système de franges ; l'un d'eux est à centre blanc, l'autre est à centre noir.

Le prisme est taillé de telle manière que son arête soit parallèle aux franges et son angle est tel qu'il produise un dédoublement égal à la moitié de leur intervalle en lumière jaune.

Les deux systèmes de franges sont ainsi confondus avec coïncidence de leurs maxima et de leurs minima de lumière.

Avantages. — Ce dispositif présente les avantages suivants :

Il laisse passer toute la lumière et donne des images deux fois plus brillantes que le polariscope de Savart muni d'un nicol, tout en possédant un champ aussi étendu que cet appareil muni d'une tourmaline.

Construit en spath, il donne des franges très fines sans que son épaisseur totale dépasse quelques millimètres. On peut ainsi placer l'œil très près de la pupille de la lunette et voir tout le champ de l'oculaire.

La visibilité des franges est peu affectée par les inégalités d'éclat des différentes parties de la planète : en effet, supposons, par exemple, qu'une frange brillante se projette sur quelques taches claires qui renforcent son éclat : grâce au biréfringent, cette action est compensée par la présence d'une seconde image de ces taches sur l'une des deux franges sombres adjacentes.

Enfin, l'aspect des franges n'est pas sensiblement modifié lorsqu'on fait tourner de 90 degrés le plan de polarisation de la lumière incidente ; le nouveau système est symétrique du premier. Cette circonstance est également favorable au but qu'il faut atteindre.

Construction. — J'ai construit trois polariscopes d'après ce principe. Celui qui convient le mieux à l'étude des planètes et qui a été utilisé presque exclusivement à cet effet, possède les caractéristiques suivantes :

Épaisseur de chacune des deux lames de spath : 1^{mm},4.

Ecartement des franges en lumière jaune vers la normale aux lames : 10'.

Dédoublement du prisme biréfringent : 5'10" ; grâce à la faible valeur de cet angle, les deux images de la source sont presque entièrement confondues, même lorsqu'on examine les plages les plus petites, car on ne peut faire de mesures sur des détails couvrant moins de deux à trois franges.

Le prisme biréfringent est formé d'un prisme de spath de 56' d'angle, achromatisé par du verre. Il est taillé dans une lame obtenue par clivage. Son axe optique, qui fait avec les faces des angles voisins de 45 degrés, est orienté de manière que la séparation des images croisse d'un bord du champ à l'autre, en même temps

que l'écartement des franges. Grâce à cet artifice, d'ailleurs tout à fait accessoire, les franges conservent leur netteté maximum jusqu'aux extrémités du champ ⁽¹⁾.

NOUVEAU POLARIMÈTRE

Malgré ses avantages qui facilitent beaucoup les observations et qui accroissent un peu leur précision, le polariscope que je viens de décrire aurait, s'il était employé seul, une sensibilité souvent insuffisante. En effet, les franges qu'il donne cessent d'être visibles avec certitude lorsque la proportion de lumière polarisée devient inférieure à 1 p. 100.

J'ai pu étudier des polarisations beaucoup plus faibles en lui adjoignant un polarimètre dont je donnerai plus loin la description détaillée.

Principe. — Le principe de ce polarimètre consiste à polariser légèrement les rayons lumineux qui tombent sur le polariscope, alternativement dans un plan tantôt parallèle, tantôt normal à la section principale de son analyseur. Grâce à cet artifice, les franges deviennent visibles, ce qui permet de poursuivre les observations.

Supposons que la lumière étudiée soit parfaitement naturelle ou polarisée à 45 degrés de cette section principale : les franges gardent constamment la même intensité.

Supposons, au contraire, qu'elle possède une très légère polarisation parallèle ou normale à la section principale de l'analyseur : cette polarisation, trop faible pour produire à elle seule un effet observable, s'ajoute à celle qui est créée artificiellement ou s'en retranche et révèle son existence en renforçant et en affaiblissant tour à tour l'intensité des franges.

Cette méthode consiste donc à apprécier l'égalité ou l'inégalité de deux faibles contrastes.

Sensibilité. — Il est évident qu'on peut déceler, par ce moyen, des proportions de lumière polarisée très inférieures à 1 p. 100.

Supposons, pour fixer les idées, que la proportion contenue dans la lumière étudiée soit de 3 millièmes.

(1) Je dois ajouter qu'en mai 1927, M. Fabry m'a obligeamment prêté un polariscope de construction assez ancienne qu'il a retrouvé au laboratoire de la Faculté des Sciences.

Il est formé de deux lames de Savart en quartz et d'un prisme de Wollaston en quartz servant d'analyseur. L'écartement des franges est de 30' et la séparation du prisme est de 45', soit une fois et demie cette valeur. Ses franges les plus sombres sont violacées au lieu d'être noires.

Je n'ai pu ni découvrir l'auteur, ni trouver aucune description de cet appareil. J'ignorais complètement son existence lorsque j'ai exécuté mes travaux.

Ajoutons-lui une proportion de 9 millièmes, par exemple, nous obtenons sensiblement 12 millièmes et les franges sont facilement visibles.

Retranchons, au contraire, ces deux proportions : il reste 6 millièmes et les franges deviennent totalement invisibles.

On conçoit que des polarisations très inférieures à trois millièmes puissent encore faire varier l'intensité des franges d'une manière appréciable.

Construction. — Voici comment a été réalisé le polarimètre dont le principe

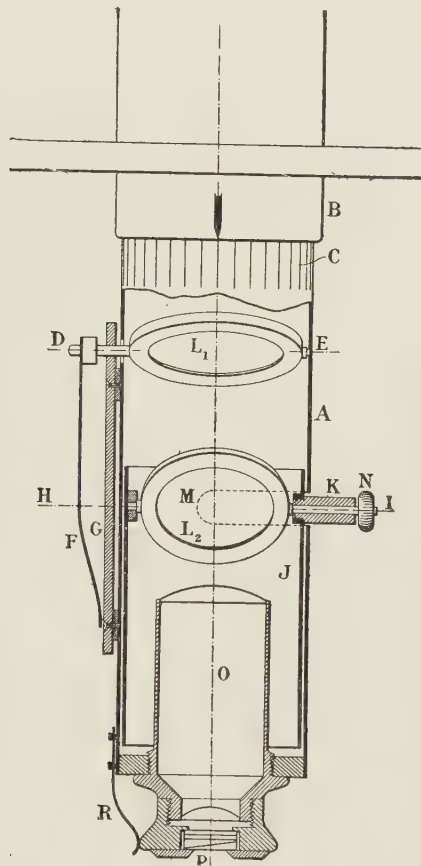


Fig. 1.

vient d'être énoncé et avec lequel j'ai effectué toutes les observations exposées dans cet ouvrage.

Il se compose d'un tube A (fig. 1) portant à son extrémité l'oculaire O de la lunette astronomique, recouvert du polariscopes à franges P qui vient d'être décrit.

Le tube A coulisse dans un tube B fixé à la lunette, afin de permettre la mise au point ; il peut également tourner autour de son axe qui est confondu avec

l'axe optique de l'instrument, sa position étant repérée par une graduation en degrés C.

Il contient, en outre, deux lames de celluloïd planes L_1 et L_2 ⁽¹⁾. La première peut tourner autour de l'axe DE ; l'angle de sa normale avec l'axe de la lunette est donné par l'aiguille F, mobile sur le secteur G, gradué de 0 à 65°.

La seconde lame est mobile autour de l'axe HI porté par un troisième tube J qui peut tourner à l'intérieur du premier. Cette rotation s'obtient en poussant du doigt la tige K. Celle-ci traverse une fente M découpée dans le tube A et ajustée de manière que le tube J tourne d'un quart de tour seulement, l'axe HI étant, dans ses positions extrêmes, parallèle ou normal à l'axe DE. Le bouton N, porté par l'axe HI, permet d'incliner à volonté la lame L_2 ou de l'arrêter dans un plan normal à l'axe de la lunette, grâce à une butée convenablement placée.

Le polariscope est contenu dans une bonnette vissée sur l'oculaire O et portant à sa périphérie des encoches dans lesquelles se loge le ressort R, pour l'immobiliser dans une position telle que le plan des franges soit parallèle ou normal à l'axe DE de la lame L_1 .

Fonctionnement. — Admettons, par exemple, que l'on ait à étudier la lumière d'une planète, supposée partiellement polarisée rectiligne ; les opérations à effectuer sont les suivantes :

Rendre la lame L_1 normale à l'axe de la lunette. Pointer la lunette sur la planète et agir sur le tube A pour amener l'image au centre du champ de l'oculaire et à l'infini. Faire apparaître les franges du polariscope sur la planète en donnant à la lame L_2 une inclinaison suffisante. Faire tourner enfin le tube J dans les deux sens, de manière que la lame L_2 vienne occuper alternativement ses deux

(1) Au cours de mes premières mesures, ces lames étaient constituées par des glaces à faces parallèles en verre de un millimètre d'épaisseur. Elles présentaient l'inconvénient de donner naissance à des images parasites formées par les rayons deux fois réfléchis sur leurs faces. Ces images étaient confondues avec l'image principale lorsque les lames étaient sensiblement normales au faisceau ; elles s'en écartaient au contraire lorsqu'on augmentait l'incidence. Les polarisations trouvées dans les deux cas n'étaient pas les mêmes et différaient d'environ $\frac{1}{20}$ de leur valeur.

Pour éviter cet inconvénient, j'ai remplacé les lames de verre par des feuilles de celluloïd mesurant $\frac{1}{100}$ de millimètre d'épaisseur, obtenues par évaporation d'une solution de celluloïd dans l'acétate d'amyle sur une glace plane et horizontale. Ces feuilles sont ensuite tendues en collant chacune d'elles sur un cadre bien plan constitué par une glace plane perforée d'un large trou.

Même sous des incidences très obliques, une lame ainsi préparée ne donne qu'une image, soit par réflexion, soit par transmission. Elle n'absorbe pas sensiblement la lumière. Elle paraît parfaitement isotrope, bien qu'en réalité elle se comporte comme un cristal uniaxe négatif dont l'axe optique serait normal à son plan. Sous l'incidence de 60°, la biréfringence est voisine de 0,012 longueurs d'onde jaune. Cette faible biréfringence ne gêne aucunement les mesures.

positions rectangulaires. Les franges ne conservent alors une visibilité constante que si la lumière est naturelle ou si elle est polarisée à 45 degrés de leur direction.

Détermination du plan de polarisation. — Pour déterminer le plan de polarisation, il suffit d'orienter le tube A de manière que l'intensité des franges soit la même pour les deux positions de la lame L_2 , puis de le faire tourner de 45 degrés, dans un sens tel que les franges aient leur visibilité minimum lorsque les axes des deux lames sont parallèles. Le plan de polarisation cherché est alors perpendiculaire à l'axe de la lame L_1 . Sa direction est donnée par le cercle C.

Mesure de la proportion de lumière polarisée. — Pour mesurer la proportion de lumière polarisée, il suffit de laisser le tube A dans la position qu'il occupe, puis d'incliner la lame L_1 jusqu'à ce que des rotations d'un quart de tour du tube J ne modifient plus l'intensité des franges. L'angle d'incidence, lu sur le secteur G, donne la proportion de lumière polarisée au moyen d'une table que l'on peut calculer avec les formules de Fresnel (nous ferons ce calcul plus loin). Lorsqu'on connaît *a priori* quelle doit être la direction du plan de polarisation, on peut se contenter de mesurer la proportion de lumière polarisée en orientant convenablement l'appareil au moyen du cercle C.

Autre méthode donnant simultanément ces deux quantités. — La méthode suivante permet de mesurer simultanément l'angle de position du plan de polarisation et la proportion de lumière polarisée. Elle consiste à compenser la polarisation que l'on veut étudier, en orientant le polarimètre successivement dans deux directions qui diffèrent de 45 degrés.

Soit P la proportion de lumière polarisée cherchée ;

α et β les angles que fait le plan de polarisation avec les deux directions choisies.

L'inclination de la lame compensatrice donne, dans le premier cas, une polarisation :

$$(1) \quad P_1 = P \cos 2\alpha$$

dans le second cas, une polarisation :

$$(2) \quad P_2 = P \cos 2\beta = P \sin 2\alpha$$

On tire de là :

$$P^2 = P_1^2 + P_2^2$$

et :

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{P_2}{P_1}$$

La formule 1 peut être démontrée de la manière suivante : soit OX et OY

(fig. 2) les axes des lames de spath du polariscope, OX' et OY' ceux de l'analyseur ; supposons la lumière incidente totalement polarisée et vibrant suivant OA . Soit β l'angle que fait OA avec OX , α l'angle que fait OA avec OY' .

Considérons d'abord les vibrations sortant suivant OX' . Leur amplitude est

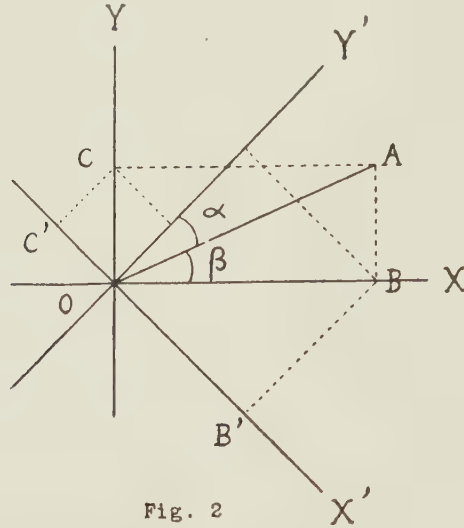


Fig. 2

la résultante, dans le temps, des vibrations OB' et OC' , obtenues en projetant sur OX' les projections OB et OC de la vibration incidente OA sur OX et OY . Cette amplitude est :

$$A_{x'} = \sqrt{\frac{OA^2}{2} \sin^2 \beta + \frac{OA^2}{2} \cos^2 \beta - OA^2 \sin \beta \cos \beta \cos \varphi}$$

φ étant la différence de phase introduite par les lames du polariscope, variable avec la distance à la frange centrale.

Suivant OX' , l'intensité est :

$$I_{x'} = \frac{OA^2}{2} (1 - \sin 2\beta \cos \varphi)$$

ou :

$$I_{x'} = \frac{OA^2}{2} (1 - \cos 2\alpha \cos \varphi)$$

Suivant OY' , on a de même :

$$I_{y'} = \frac{OA^2}{2} (1 + \cos 2\alpha \cos \varphi')$$

Grâce au dédoublement du prisme biréfringent, les directions de deux rayons incidents qui en sortent confondus sont telles que l'on ait sensiblement :

$$\varphi' = \varphi + \pi$$

Nous avons donc :

$$I_{y'} = \frac{OA^2}{2} (1 - \cos 2\alpha \cos \varphi)$$

L'intensité totale est alors :

$$I = OA^2 (1 - \cos 2\alpha \cos \varphi) = I_0 (1 - \cos 2\alpha \cos \varphi)$$

I_0 étant l'intensité de la lumière incidente.

Soient I_1 et I_2 le minimum et le maximum de l'intensité lumineuse lorsque φ varie. Je définirai la visibilité des franges comme étant :

$$V = \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1}$$

avec

$$\begin{aligned} I_2 &= I_0 (1 + \cos 2\alpha) \\ I_1 &= I_0 (1 - \cos 2\alpha) \end{aligned}$$

Nous avons donc :

$$V = \frac{2 \cos 2\alpha}{2} = \cos 2\alpha$$

(On remarque que l'intensité des franges brillantes est double de celle de la source).

Si la lumière incidente contenait une proportion P de lumière polarisée, I_0 étant l'intensité de la lumière incidente, nous aurions :

$$\begin{aligned} I_2 &= PI_0 (1 + \cos 2\alpha) + (1 - P) I_0 \\ I_1 &= PI_0 (1 - \cos 2\alpha) + (1 - P) I_0 \end{aligned}$$

et :

$$V = \frac{2P \cos 2\alpha}{2} = P \cos 2\alpha$$

L'aspect des franges et l'inclinaison de la lame qui compense la polarisation sont les mêmes que si la lumière était polarisée dans le plan des franges, la proportion étant :

$$P' = P \cos 2\alpha.$$

Etude de la polarisation elliptique. — Le même polarimètre peut servir à analyser, par la méthode de Sénarmont, une lumière elliptique quelconque, même si celle-ci est diluée dans une grande quantité de lumière naturelle. Si l'ellipticité est très faible, le grand axe de l'ellipse et la proportion de lumière polarisée sont donnés directement par les méthodes qui viennent d'être exposées. Si l'ellipticité n'est pas très faible, il faut fixer au polarimètre une lame biréfringente épaisse, en quartz par exemple, dont l'un des axes soit parallèle au plan d'incidence de la

lame compensatrice L_1 . Dans ces conditions, lorsqu'on opère en lumière blanche, une lumière elliptique agit sur l'appareil comme si elle était rectiligne et partiellement polarisée, le plan de polarisation étant normal au grand axe de l'ellipse.

Il est alors facile de déterminer la direction α_1 du grand axe par la méthode indiquée précédemment pour obtenir le plan de polarisation d'une vibration rectiligne.

La mesure de l'ellipticité comporte les opérations suivantes :

Déterminer la direction α_1 du plan de polarisation ;

Faire précéder l'ensemble d'un quart d'onde dont un axe est parallèle à la direction α_1 trouvée ;

Repérer la nouvelle direction α_2 du plan de polarisation ;

Intervertir les axes du quart d'onde ;

Repérer une troisième fois la direction α_3 du plan de polarisation.

Le rapport des axes de l'ellipse est égal à :

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha_2 - \alpha_3}{2}$$

Le signe de cette quantité indique le sens dans lequel l'ellipse est décrite et la proportion de lumière polarisée elliptique peut être mesurée directement pour une des deux positions du quart d'onde.

Cette méthode permet donc de déterminer facilement tous les éléments d'une lumière polarisée quelconque.

En étudiant la lumière des corps célestes, je n'ai jamais eu à mesurer de fortes ellipticités ; il était alors inutile d'ajouter une lame de quartz au polarimètre.

J'ai simplement placé à son extrémité tournée vers l'objectif un tube portant la lame quart d'onde. Cette lame est tenue par une pièce articulée au moyen d'une charnière ; elle peut être ainsi écartée pour la détermination du grand axe de l'ellipse ou placée normalement au faisceau pour la mesure de l'ellipticité. Le tube qui la porte peut tourner autour de l'axe du polarimètre. Deux butées limitent sa rotation à 90 degrés et permettent d'intervertir exactement les axes du quart d'onde. Afin que ceux-ci soient sensiblement parallèles à ceux de l'ellipse, on règle la position des butées d'après la direction trouvée pour le grand axe.

Précision des mesures. — Toutes ces mesures sont susceptibles d'une grande précision, si l'on a soin d'incliner la lame L_2 du polarimètre d'un angle juste suffisant pour rendre les franges visibles avec certitude.

L'expérience montre que, dans ces conditions, lorsque l'éclat de la source est suffisant, une proportion de lumière polarisée rectiligne de 1 p. 1 000 produit déjà une dissymétrie sensible. On peut donc compenser et mesurer de faibles proportions de lumière polarisée rectiligne à un millième près.

L'angle de position du plan de polarisation est alors défini avec une précision donnée par la formule 2, page 15 : lorsque l'on fait tourner le polarimètre jusqu'à ce que l'équilibre des franges soit établi, son plan principal fait, avec le plan de polarisation cherché, un angle tel que l'on ait :

$$P \cos 2\alpha \leq \frac{1}{1\,000}$$

P étant la proportion de lumière polarisée.

L'erreur maximum $\Delta\alpha$, commise en admettant que $\alpha = 45^\circ$, est donnée par la formule :

$$P \cos 2\left(\frac{\pi}{4} + \Delta\alpha\right) = \frac{1}{1\,000}$$

d'où :

$$P \sin 2\Delta\alpha = \frac{1}{1\,000}$$

Lorsque P n'est pas très petit, on a sensiblement :

$$(3) \quad \Delta\alpha = \frac{1}{2\,000\,P}$$

Le plan de polarisation d'un rayon contenant 1 p. 100 de lumière polarisée peut donc être mesuré à 3 degrés près.

Dans le cas d'une vibration fortement elliptique, la position du grand axe peut être déterminée avec la même précision et la proportion de lumière polarisée s'obtient encore à un millièème près.

L'ellipticité étant donnée par la formule :

$$E = \operatorname{tg} \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$$

soit sensiblement :

$$E = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2}$$

nous aurons :

$$(4) \quad \Delta E = \frac{1}{2\,000\,P}$$

l'erreur probable serait d'environ :

$$\frac{1}{3\,000\,P}$$

On peut donc déceler, dans un rayon contenant 1 p. 100 de lumière polarisée,

l'ellipticité d'une vibration dont le petit axe est seulement le vingtième du grand axe.

Calcul de la proportion de lumière polarisée. — Nous allons faire ce calcul au moyen des formules de Fresnel, en tenant compte des rayons qui ont subi un nombre pair de réflexions sur les deux faces de la lame compensatrice. Nous supposons que ceux-ci sont confondus avec le faisceau direct et qu'ils ne sont pas sensiblement absorbés, ce qui a toujours lieu avec les lames de celluloïd employées.

Faisons tomber sur la lame un rayon de lumière naturelle sous l'angle d'incidence i .

Soient r_n et r_p les pouvoirs réflecteurs d'une des surfaces de la lame lorsque les vibrations sont normales ou parallèles au plan d'incidence.

Dans le premier cas, la fraction transmise à travers la lame est :

$$\theta_n = (1 - r_n)^2 (1 + r_n^2 + r_n^4 \dots)$$

soit :

$$\theta_n = \frac{(1 - r_n)^2}{1 - r_n^2} = \frac{1 - r_n}{1 + r_n}$$

De même, dans le second cas, la fraction transmise est :

$$\theta_p = \frac{(1 - r_p)^2}{1 - r_p^2} = \frac{1 - r_p}{1 + r_p}$$

Si la lumière incidente est naturelle, elle contient, après avoir traversé la lame, une proportion de lumière polarisée :

$$P = \frac{\theta_p - \theta_n}{\theta_p + \theta_n}$$

En remplaçant θ_n et θ_p par leurs valeurs obtenues précédemment, on trouve :

$$P = \frac{r_n - r_p}{1 - r_n r_p}$$

Les formules de Fresnel donnent :

$$r_n = \left(\frac{\sin(i - r)}{\sin(i + r)} \right)^2 \quad r_p = \left(\frac{\operatorname{tg}(i - r)}{\operatorname{tg}(i + r)} \right)^2$$

Jointes à la formule précédente, elles permettent de calculer P en fonction de i et de l'indice n de la lame.

Les deux premières colonnes du tableau I ont été calculées de cette façon, en prenant pour indice n de la lame compensatrice en celluloïd la valeur 1,511, mesurée au réfractomètre de Pulfrich pour la raie D ; elles donnent la proportion de lumière polarisée P exprimée en millièmes, en fonction de l'angle d'incidence i exprimé en degrés.

TABLEAU I

Lame mince de celluloid d'indice 1,511.

I	P	P'	I	P	P'	I	P	P'	I	P	P'
0°	0,00	0,00	18°	11,3	11,6	36°	50,5	52,0	54°	135,8	139,9
1	0,04	0,04	19	12,6	13,0	37	53,8	54,4	55	142,4	146,7
2	0,13	0,13	20	14,0	14,4	38	57,2	58,9	56	149,2	153,7
3	0,30	0,31	21	15,5	16,0	39	60,8	61,6	57	156,3	161,0
4	0,53	0,55	22	17,1	17,7	40	64,5	66,5	58	163,6	168,5
5	0,84	0,87	23	18,8	19,4	41	68,4	70,5	59	171,1	176,2
6	1,20	1,24	24	20,6	21,3	42	72,5	74,7	60	178,8	183,1
7	1,64	1,69	25	22,5	23,2	43	76,7	79,0	61	186,7	192,3
8	2,15	2,21	26	24,5	25,2	44	81,1	83,5	62	194,8	200,7
9	2,70	2,78	27	26,6	27,4	45	85,7	88,3	63	203,1	209,2
10	3,31	3,41	28	28,8	29,6	46	90,5	93,2	64	211,6	218,0
11	4,05	4,17	29	31,1	32,0	47	95,5	98,3	65	220,3	226,9
12	4,88	4,93	30	33,5	34,5	48	100,6	103,6	66	229,2	236,1
13	5,75	5,92	31	36,0	37,1	49	105,9	109,1	67	238,1	245,3
14	6,72	6,92	32	38,6	39,8	50	111,4	114,8	68	247,2	254,6
15	7,74	7,97	33	41,4	42,6	51	117,2	120,7	69	256,3	264,0
16	8,86	9,12	34	44,3	45,6	52	123,1	126,8	70	265,6	273,6
17	10,02	10,32	35	47,3	48,7	53	129,3	133,2	71	274,8	283,1
18	11,29	11,63	36	50,5	52,0	54	135,8	139,9	72	283,9	292,4

I : Angle d'incidence exprimé en degrés.

P : Proportion de lumière polarisée exprimée en millièmes, calculée avec les formules de Fresnel.

P' : Proportion de lumière polarisée corrigée d'après la courbe d'étalonnage (fig. 3).

Etalonnage du polarimètre. — Les pouvoirs réflecteurs des corps transparents n'ont pas toujours la valeur que les formules de Fresnel permettent de leur assigner, c'est pourquoi j'ai cherché à vérifier l'exactitude du tableau I en mesurant, avec mon polarimètre, des proportions de lumière polarisée connues.

J'ai employé la méthode suivante due à Cornu :

La plate-forme mobile d'un goniomètre, dont l'axe a été rendu horizontal, porte en son centre une source de lumière totalement polarisée constituée par un diaphragme éclairé par une lampe à incandescence à verre dépoli et suivi d'un nicol. Les rayons émis suivant l'axe du goniomètre traversent normalement une lame de quartz de 4 millimètres d'épaisseur, taillée parallèlement à l'axe optique du cristal.

Ils sortent de cette lame partiellement polarisés, dans l'ensemble de leurs radiations, suivant un plan parallèle ou normal à l'axe optique. La proportion est : $P = \cos 2\alpha$, α désignant l'angle que fait cet axe avec la section principale du nicol ⁽¹⁾.

(1) En effet, à son entrée dans la lame de quartz, la vibration incidente se décompose en deux vibrations polarisées, l'une parallèlement, l'autre normalement à l'axe optique. Etant donné la grande épaisseur de cette lame, les vibrations prennent l'une par rapport à l'autre un retard suffisant pour ne pas donner d'interférence observable en lumière blanche ; leurs intensités s'ajoutent

L'angle α est donné à une constante près par le cercle du goniomètre. Son zéro était obtenu en analysant avec un nicol la lumière qui sort du quartz et en repérant sur le cercle la position du premier nicol qui donnait lieu à la meilleure extinction.

La qualité de l'extinction et la précision de cette détermination variaient beaucoup, suivant l'échantillon de quartz employé. J'ai vérifié le zéro en cherchant directement la valeur de α pour laquelle la polarisation était nulle.

J'ai analysé la lumière sortant du quartz au moyen du polarimètre précédé d'une simple lentille qui remplaçait l'objectif de la lunette astronomique et qui formait une image du diaphragme au centre du champ de l'oculaire.

TABLEAU II

Etalonnage du polarimètre.

α	I	$\cos 2\alpha$	P	α	I	$\cos 2\alpha$	P
44° 58' 5	5° 0	0,9	0,8	43° 23' 5	37° 2	56,1	54,5
44 56,8	7,2	1,8	1,8	43 13,5	38,5	61,9	59,0
44 53,5	11,0	3,8	4,1	43° 3,5	40,1	67,7	64,9
44 46,8	15,1	7,7	7,9	42 53,5	41,5	73,5	70,5
44 40,2	17,4	11,5	10,5	42 43,5	43,1	79,3	77,1
44 33,5	20,9	15,4	15,4	42 23,5	45,5	90,9	88,1
44 26,8	22,9	19,3	18,6	42 3,5	48,0	102,5	100,6
44 20,2	25,4	23,1	23,3	41 47,0	49,6	112,0	109,2
44 13,5	27,1	27,0	26,8	41 23,5	51,7	125,6	121,3
44 3,5	29,8	32,9	33	41 3,5	53,5	137,2	132,6
43 53,5	31,7	38,7	37,8	40 47,0	55,0	146,6	142,4
43 43,5	33,4	44,5	42,6	38 47,0	63,8	215,3	209,9
43 33,5	35,5	50,3	48,9	37 17,0	69,2	266,1	258,2

α : Angle de la section principale du polariseur et de celle du quartz.

I : Angle d'incidence de la lame de celluloïd qui annule la polarisation.

P : Proportion de lumière polarisée correspondante ; calculée avec le tableau I.

Les valeurs de $\cos 2\alpha$ et de P sont exprimées en millièmes.

Les six dernières valeurs sont la moyenne de quatre mesures.

Les autres sont le résultat d'une seule lecture.

donc simplement. D'après la loi de Malus elles sont proportionnelles respectivement à $\cos^2 \alpha$ et à $\sin^2 \alpha$. La proportion de lumière polarisée est donc :

$$P = \frac{\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha} = \cos 2\alpha$$

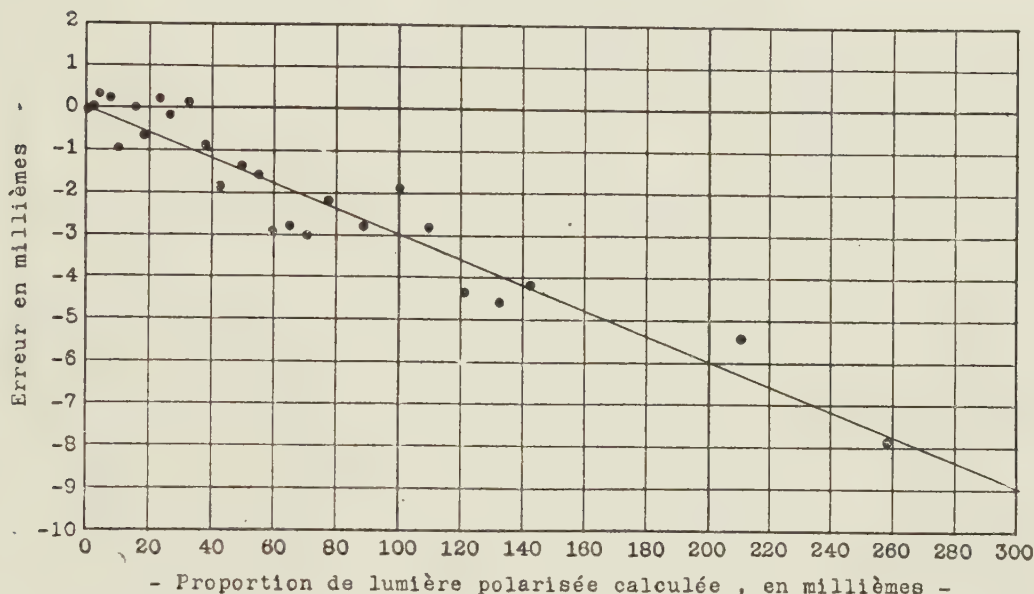
Si la lame de quartz n'a pas une épaisseur convenable, des systèmes de franges parasites peuvent venir se former près du système de franges central et fausser les mesures. Ce phénomène apparaît lorsque la lame de quartz introduit une différence de marche, soit très faible, soit voisine de celle que présentent les rayons qui ont traversé directement une des lames de celluloïd du polarimètre avec les rayons qui ont subi deux réflexions sur ses faces.

J'ai essayé un quartz de 2 millimètres d'épaisseur qui a fait apparaître des franges parasites. Au contraire, le quartz de 4 millimètres employé n'a donné lieu à aucun phénomène de ce genre.

Les résultats sont donnés par le tableau II où figurent : l'angle α lu sur le cercle du goniomètre, les angles d'incidence i correspondants donnés par le cercle du polarimètre, la valeur de $\cos 2\alpha$ exprimée en millièmes et la proportion de lumière polarisée P exprimée en millièmes, déduite de l'angle i au moyen de la table I.

La droite tracée figure 3 donne les différences $P - \cos 2\alpha$ en fonction de P . Elle représente convenablement l'ensemble des mesures. La lame de celluloïd

Fig. 3 - Etalonnage du polarimètre



polarise la lumière plus fortement que les formules de Fresnel ne l'indiquent ; elle se comporte sensiblement comme si elle avait un indice de réfraction de 1,523 au lieu de 1,511.

La pente de la droite indique les corrections à apporter aux proportions de lumière polarisée calculées. Celles-ci doivent être multipliées par 1,03.

Les valeurs ainsi corrigées sont données par la troisième colonne P' du tableau I ; elles ont servi à calculer les proportions de lumière polarisée contenues dans cet ouvrage. Celles-ci sont définies en valeur absolue, avec une précision supérieure à celle des mesures de polarisation.

INSTRUMENTS EMPLOYÉS

Les recherches sur la polarisation de la lumière des planètes ont été effectuées en adaptant mon polarimètre aux trois instruments suivants : la grande lunette de l'Observatoire de Meudon, une lunette de 7 pouces anglais d'ouverture et un

télescope Cassegrain. Nous allons examiner rapidement les principales qualités de ces instruments.

Grande lunette. — L'objectif visuel du grand équatorial de l'Observatoire de Meudon mesure 85 centimètres d'ouverture et 16 mètres de distance focale. Il possède un achromatisme très satisfaisant pour les régions rouge, jaune et verte du spectre : le foyer s'allonge, au contraire, beaucoup dans l'extrême bleu et le violet.

L'objectif présente des surfaces dont la taille est excellente, on ne lui a jamais trouvé aucun défaut permanent et, lorsque les conditions atmosphériques sont très favorables, il donne des images parfaites, nécessitant un grossissement de 800. J'ai examiné la trempe des verres avec la lumière polarisée de l'atmosphère. La lunette était pointée, dans la journée, à 90° du Soleil, sur un point du ciel entièrement dépourvu de nuages. L'oculaire était remplacé par un nicol orienté de manière à affaiblir le plus possible la lumière.

On voyait alors une croix grise dont une des branches était dirigée sensiblement vers le Soleil. Cette croix n'était pas tout à fait régulière et ses branches se déformaient un peu lorsqu'on faisait varier l'orientation de l'objectif par rapport au Soleil.

La biréfringence n'était donc pas très symétrique. Pour chiffrer les erreurs qu'elle pouvait introduire, j'ai mesuré la polarisation d'un même point du ciel en plaçant le polarimètre alternativement, soit à l'extrémité oculaire de la lunette, soit à côté de celle-ci. La polarisation du ciel était voisine de 200 millièmes ; à travers l'objectif, elle était légèrement réduite d'une quantité inférieure à 2 millièmes. Les polarisations mesurées avec cet instrument sont donc entachées d'une erreur inférieure au centième de leur valeur. Les chiffres trouvés n'ayant pas, en général, dépassé 80 millièmes, je ne leur ai fait subir aucune correction.

Petite lunette. — Pour étudier la polarisation de l'ensemble d'une planète ou d'une fraction importante de son disque, j'ai souvent préféré à ce grand réfracteur une lunette beaucoup plus petite et plus maniable, pouvant être pointée rapidement afin d'utiliser de courtes éclaircies.

Son objectif mesure 0^m,175 de diamètre et 2^m,60 de foyer. La région du spectre pour laquelle il est achromatique s'étend plus loin dans le bleu, mais, en revanche, son spectre secondaire contient un peu de rouge. Les surfaces sont très satisfaisantes bien que l'examen en laboratoire, par la méthode de Foucault, révèle deux légères zones sans influence appréciable sur le pouvoir séparateur. Un grossissement de 200 était nécessaire pour voir les détails de l'image. Les mesures étaient faites, le plus souvent, avec un oculaire grossissant 300 fois.

Cet objectif, examiné en lumière polarisée, montrait une croix sombre, intense et parfaitement régulière, qui restait immuable lorsqu'on faisait tourner l'objectif autour de son axe. La trempe était donc très forte, mais bien symétrique, et croisait du centre vers les bords.

J'ai mesuré la correction à apporter aux résultats en pointant la lunette sur un écran blanc uniformément éclairé, précédé d'une glace inclinée.

Le polarimètre étant placé à l'oculaire, j'ai mesuré la polarisation de cette source, sans l'objectif, puis à travers celui-ci, en faisant varier son orientation et en le faisant précéder de diaphragmes circulaires de 10, 12 et 14 centimètres d'ouverture.

Comme on pouvait le prévoir, la polarisation était parfaitement indépendante de l'orientation de l'objectif et ne variait qu'avec son ouverture. Le rapport des polarisations trouvées sans les verres et avec ceux-ci, est :

- 1,012 avec l'ouverture 10 centimètres ;
- 1,067 avec l'ouverture 12 centimètres ;
- 1,119 avec l'ouverture 14 centimètres ;
- 1,246 avec l'ouverture totale.

La proportion de lumière polarisée de la source était de 104 millièmes ; ces chiffres sont donc connus à moins d'un centième près.

La lunette était toujours munie de l'un de ces diaphragmes, de préférence celui de 12 centimètres. J'ai effectué les corrections en multipliant les polarisations trouvées par le coefficient correspondant à l'ouverture employée.

Télescope. — Un télescope Cassegrain m'a servi également à faire quelques mesures. Son grand miroir a 60 centimètres de diamètre et 2^m,10 de foyer. Le petit miroir hyperbolique porte la distance focale à 14 mètres.

Le parfait achromatisme des images rend inutile l'emploi d'un écran coloré ; d'autre part la réflexion par les miroirs, ayant lieu sous des incidences voisines de la normale ⁽¹⁾, ne produit aucune polarisation elliptique et n'altère pas la polarisation que l'on veut mesurer.

Les surfaces des miroirs de ce télescope possèdent quelques irrégularités ; les images qu'il donne n'ont pas une grande finesse et sont toujours agitées, c'est pourquoi, malgré ses qualités importantes, je lui ai préféré la grande lunette.

CAUSES DIVERSES D'ERREUR

Polarisation marginale. — La biréfringence des objectifs, que nous venons d'étudier à propos des instruments, n'est pas la seule cause d'erreur. En exami-

(1) Le rapport d'ouverture du grand miroir étant F/3,5, l'angle d'incidence des rayons aux bords est de $\frac{1}{14}$, soit 4°5'. Au bord du petit miroir il est un peu plus petit.

nant, avec un réfracteur, le bord de la Lune ou d'une planète, j'ai souvent constaté l'existence, au bord extrême, d'une polarisation. Celle-ci peut être observée facilement avec le polarimètre que j'ai établi ou même simplement avec un polariscope de Savart à franges fines. Les franges de ce dernier appareil, invisibles sur le disque, apparaissent au bord sur une largeur généralement inférieure à une seconde ; elles disparaissent lorsque leur direction fait avec le bord un angle voisin de 45 degrés.

J'ai étudié ces phénomènes en observant la Lune lorsque sa polarisation est faible, avec le polarimètre orienté à 45° du plan de polarisation de la surface lunaire. Les phénomènes sont les suivants :

La polarisation marginale s'étend sur une largeur qui dépasse rarement une seconde ;

Elle atteint quelquefois 20 millièmes ;

Elle ne paraît pas dépendre de l'ouverture de l'instrument ;

Elle varie, au contraire, beaucoup avec la mise au point ;

A l'intérieur du foyer, le plan de polarisation est normal au bord ;

A l'extérieur du foyer, ce plan est tangent au bord ;

Au foyer même, si l'on a soin de supprimer le spectre secondaire de l'objectif avec un écran approprié, cette polarisation disparaît ;

Si l'on enlève l'écran, les franges apparaissent dans le liseré violet qui borde le disque. Le plan de la polarisation est alors normal au bord.

Ce phénomène est, évidemment, de nature instrumentale, mais je n'ai pu jusqu'ici en trouver aucune explication.

Pour éviter cette cause d'erreur, lorsque j'utilisais un réfracteur, j'ai toujours eu soin de supprimer le spectre secondaire avec un écran approprié ⁽¹⁾ et de faire une mise au point précise ; dans ces conditions, aucune polarisation marginale n'apparaissait, quelle que soit l'agitation des images.

Polarisation atmosphérique. — Notre atmosphère est incapable de polariser la lumière des astres par réfraction, puisqu'elle ne donne naissance à aucun rayon réfléchi. Par contre elle peut, comme l'a découvert H. Becquerel, faire tourner son plan de polarisation. Cette rotation, maximum dans le méridien magnétique, atteint seulement 45' à 5° de l'horizon. Mes observations étant presque toujours faites à une plus grande hauteur, je n'ai pas tenu compte de ce phénomène.

⁽¹⁾ Ces écrans étaient formés d'une lame de gélatine collée au baume de Canada entre deux glaces minces et contenant une forte proportion de tartrazine, ainsi qu'une très petite quantité de vert naphthol. La proportion de ces deux colorants était réglée suivant l'achromatisme de l'objectif utilisé : la tartrazine enlève complètement le violet et l'extrémité du bleu ; le vert naphthol affaiblit l'extrême rouge. Ces écrans absorbent très peu de lumière.

Lorsque notre atmosphère n'est pas éclairée, elle n'altère donc pas sensiblement la polarisation des astres.

Le jour, il en est tout autrement : la brillance de l'atmosphère, comparable à celle des planètes et sa polarisation très supérieure semblent, *a priori*, rendre les mesures diurnes impossibles. En effet, la lumière atmosphérique, se confondant avec celle que l'on étudie, fausse complètement les résultats.

D'autre part, les planètes Mercure et Vénus accomplissent une grande partie de leurs phases dans des directions trop voisines de celle du Soleil pour qu'il soit possible de les observer la nuit. J'ai donc été amené à rechercher un procédé permettant d'éliminer l'influence gênante de notre atmosphère. Voici les solutions qui m'ont paru les meilleures.

COMPENSATION DE LA POLARISATION ATMOSPHÉRIQUE

Premier dispositif. — Un premier procédé consiste à couvrir la partie centrale de l'objectif avec une pile de glaces inclinées sous une incidence de 60 degrés environ. Cette pile est faite avec des verres de plaques photographiques minces dont les faces ne sont pas exactement parallèles. Elle dévie les rayons de la planète qui ne tombent plus au centre de l'oculaire ; par contre, elle envoie sur l'image de la planète, formée par le tour de l'objectif, la lumière provenant d'une partie voisine du ciel, après l'avoir fortement polarisée.

Un volet, commandé de l'oculaire, permet de laisser passer une partie plus ou moins grande des rayons qui traversent la pile et de régler ainsi la polarisation apparente du ciel. Cette polarisation semble accrue ou diminuée lorsqu'on ouvre le volet, suivant que le plan d'incidence des glaces est à peu près normal ou parallèle à celui de la lame compensatrice du polarimètre.

Voici comment fonctionne ce dispositif : orientons le polarimètre dans une direction déterminée.

Soit α l'angle que fait le plan d'incidence de la lame compensatrice avec le plan de polarisation de la lumière de la planète, β l'angle qu'il fait avec celui de la lumière du ciel, P la proportion de lumière polarisée de la planète (abstraction faite de la lumière atmosphérique), P' celle du ciel. Elles agissent respectivement sur l'appareil comme des polarisations :

$$P_1 = P \cos 2\alpha$$

$$P_2 = P' \cos 2\beta$$

Soit E_1 la brillance qu'aurait la planète si l'atmosphère n'était pas éclairée.

E_2 celle du ciel.

La brillance apparente de la planète est :

$$E_1 + E_2$$

et la composante de la polarisation apparente suivant le plan principal du polarimètre est :

$$(5) \quad P_3 = \frac{P_1 E_1 + P_2 E_2}{E_1 + E_2}$$

L'observation des franges sur la planète et sur la portion voisine du champ donne P_3 et P_2 . La méthode consiste à faire varier P_2 , en modifiant l'ouverture du volet, jusqu'à ce qu'on ait : $P_2 = P_3$; on mesure alors P_3 qui est égal à la valeur cherchée P_1 .

Pour déterminer le plan de polarisation de la planète, il suffit de placer l'index de la lame compensatrice au zéro et d'agir à la fois sur l'orientation du polarimètre et sur l'ouverture du volet jusqu'à ce qu'on ait : $P_2 = P_3 = 0$. P_1 est alors égal à zéro et le plan principal du polarimètre se trouve à 45° du plan de polarisation cherché.

L'ouverture du volet doit être réglée à chaque mesure, car le passage de légers cirrus fait souvent varier les polarisations P_2 et P_3 . Lorsque ces quantités sont voisines au début des observations, il peut devenir nécessaire de fermer complètement le volet ou même de faire tourner la pile de glaces d'un quart de tour pendant une série de mesures, ce qui n'est pas pratiqué.

Deuxième dispositif. — Pour éviter un semblable inconvénient, j'ai remplacé, dans ce cas, les glaces fixes par des lames montées sur un axe qui fait, avec leur surface, un angle d'environ 40° . Cet axe est normal à celui de la lunette et forme un angle d'à peu près 45° avec le plan qui passe par la planète et par le Soleil. En le faisant tourner depuis l'oculaire au moyen d'une cordelette, on fait osciller le plan d'incidence des lames de part et d'autre de sa direction, ce qui accroît ou diminue la polarisation P_2 .

Le premier dispositif est nécessaire lorsque la planète est loin du Soleil et qu'il faut compenser de fortes polarisations atmosphériques. Le second est, au contraire, plus commode pour observer près du Soleil, surtout lorsque la polarisation de la planète est de même sens que celle du ciel.

Précision des mesures. — Tirons P_1 de la formule 5, nous obtenons :

$$P_1 E_1 = P_3 (E_1 + E_2) - P_2 E_2$$

d'où :

$$P_1 = (P_3 - P_2) \frac{E_2}{E_1} + P_3$$

L'erreur commise sur P_1 est :

$$\Delta P_1 = \Delta P_3 \left(1 + \frac{E_2}{E_1} \right) - \Delta P_2 \frac{E_2}{E_1}$$

Soit ΔP l'erreur maximum commise sur P_3 et sur P_2 , l'erreur maximum sur P_1 est :

$$\Delta P_1 = \Delta P \left(1 + 2 \frac{E_2}{E_1} \right)$$

L'erreur probable est plus faible : admettons par exemple $E_1 = E_2$, ce qui donne $E_3 = 2E_2$ (éclat apparent de la planète, double de celui du ciel).

ΔP étant égal à $1/1000$, nous obtenons :

$$\Delta P_1 = \frac{5}{1\,000}$$

L'erreur probable serait d'environ $2/1000$.

Précautions à prendre. — Pour que ces méthodes donnent des résultats satisfaisants, il est bon de protéger l'objectif de la lunette contre les rayons solaires afin d'éviter leur diffusion par les verres, la formation d'images parasites du Soleil par réflexions multiples et l'échauffement de l'intérieur du tube.

A cet effet, j'ai prolongé la lunette du côté de l'objectif par un pylône triangulaire en bambous, portant une série d'écrans rectangulaires en carton fixés à l'un de ses côtés et normaux à son axe. Leur espacement va en croissant à partir de l'objectif, de manière que celui-ci soit toujours à l'ombre de l'un d'eux ⁽¹⁾. Grâce à cette précaution, il est très facile de mesurer la polarisation de Vénus tant que cette planète est assez près du Soleil pour que la polarisation du ciel ne dépasse pas environ 60 millièmes. Quand la distance de Vénus au Soleil atteint 20°, des cirrus légers, quelquefois même invisibles, suffisent pour faire varier la polarisation atmosphérique ; il faut alors refaire constamment la compensation et opérer vite.

Au-dessus de 25°, un phénomène gênant apparaît ; la visibilité des franges sur le ciel dépend de l'accommodation.

Nous comprendrons aisément ce phénomène en examinant la pupille de sortie de la lunette (image de l'objectif formée par l'oculaire).

Les rayons provenant de sa périphérie et ceux qui ont traversé la pile de glaces contiennent des quantités de lumière polarisée assez fortes, mais égales et de sens opposé. Si l'observateur regarde à l'infini, ces deux faisceaux de rayons forment sur la rétine deux systèmes de franges complémentaires qui se détruisent.

Le premier faisceau couvre une portion de la pupille beaucoup plus grande que le second ; par conséquent, si l'observateur accommode, les franges que donne ce premier faisceau s'affaiblissent beaucoup plus vite que celles du second et, par suite, le système de franges réapparaît. L'œil est alors tenté d'accommoder.

(1) J'ai employé des pylônes de diverses grandeurs adaptés à la lunette de 6^m,175 d'ouverture. Le plus grand mesurait 2^m,50 et permettait de poursuivre les mesures jusqu'à 4° du Soleil.

Ce phénomène rend les mesures très difficiles, la compensation devenant fonction de la convergence très variable du cristallin. Pour diminuer un tel inconvénient, il suffit d'augmenter le grossissement et de diaphragmer un peu l'objectif ; la visibilité des franges dépend alors assez peu de la convergence du cristallin pour qu'on puisse s'empêcher d'accommoder.

Avec un grossissement de 400 et une ouverture de 120 millimètres, l'éclat des images est encore suffisant et les mesures sur Vénus sont possibles jusqu'à une quarantaine de degrés du Soleil, bien que la polarisation du ciel dépasse 200 millièmes, soit environ dix fois celle de la planète.

Compensation automatique de la polarisation atmosphérique. — J'ai essayé der-

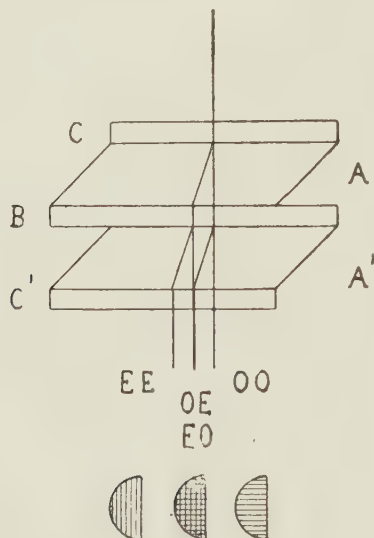


Fig. 4 - Compensation automatique
de la polarisation atmosphérique

nièrement de compenser la polarisation atmosphérique au moyen du dispositif suivant :

Deux rhomboèdres de spath identiques A et A' (fig. 4) sont collés au baume de Canada de part et d'autre d'une lame de quartz B taillée parallèlement à l'axe optique. Leurs sections principales sont parallèles et forment un angle de 45° avec l'axe du quartz. Le tout est compris entre deux lames de verre C et C' collées au baume de Canada ⁽¹⁾.

Cet ensemble est placé derrière l'oculaire, entre celui-ci et les lames du polari-

⁽¹⁾ Le baume de Canada a pour effet d'éviter la réflexion de la lumière à la surface des spaths, ce qui affaiblirait inégalement les rayons ordinaires et les rayons extraordinaires.

mètre; il est orienté de manière que les sections principales des spaths soient parallèles ou normales au plan d'incidence de la première de ces lames.

Le premier rhomboèdre donne deux images de la planète, entièrement dépolarisées par la lame de quartz; dans ces conditions, le second rhomboèdre donne quatre images : OO, OE, EO, EE. La deuxième et la troisième sont polarisées en sens inverse et superposées ⁽¹⁾.

Soit P la proportion de lumière polarisée de la planète; supposons son plan parallèle aux sections principales des spaths. L'image centrale possède alors une proportion de lumière polarisée égale à P, mais dans un plan perpendiculaire. Si le plan de polarisation de la planète fait un angle α avec les sections principales des spaths, le polarimètre accusera une proportion :

$$P' = - P \cos 2\alpha.$$

Si le ciel est éclairé par le Soleil, sa lumière n'agit pas sur le polariscope, car ses quatre images sont superposées et leurs polarisations se détruisent. Il suffit donc de faire les mesures sur l'image centrale, comme si la lumière du ciel n'existait pas. On obtient alors une proportion de lumière polarisée égale à celle de la planète et un plan de polarisation normal au sien.

⁽¹⁾ Il est nécessaire que cette superposition soit parfaitement réalisée, sinon des polarisations parasites apparaîtraient dans l'image centrale, lorsque la planète n'a pas un éclat très uniforme. Il suffit, pour obtenir ce résultat, que les rhomboèdres soient identiques et que leurs quatre faces soient parallèles, ainsi que leurs axes optiques. Les réglages peuvent être faits aisément en observant au microscope un point lumineux placé derrière les spaths. Les rhomboèdres introduisent un peu d'astigmatisme, mais celui-ci ne gêne pas les mesures, car il est exactement le même pour les images OE et EO.

CHAPITRE III

POLARISATION DE LA LUMIÈRE DES PLANÈTES

Généralités.

CONDITIONS D'ÉCLAIREMENT

La lumière des planètes ayant pour origine la diffusion des rayons solaires, sa polarisation doit, semble-t-il, dépendre en premier lieu des positions relatives de la Terre et du Soleil.

Dans tout ce qui va suivre, je définirai ces positions au moyen des deux quantités suivantes :

1^o L'angle entre les rayons solaires incidents et les rayons solaires diffusés vers la Terre (distance angulaire de la Terre et du Soleil vus de la planète), que j'appellerai « *angle de vision* » et qui sera désigné par la lettre V ⁽¹⁾.

2^o L'angle de position du plan passant par l'observateur, par la planète et par le Soleil. J'appellerai ce plan « *plan de vision* » et son angle de position (angle qu'il fait avec le méridien passant par la planète, compté positivement de 0 à 180° dans le sens trigonométrique) sera désigné par la lettre X ⁽²⁾.

J'ai calculé ces deux quantités pour chaque observation avec une précision de 5' pour les grands angles de vision, de 1' pour les petits angles de vision et de 6' pour l'angle de position du plan de vision.

(1) Pour la Lune et pour les planètes inférieures, cet angle peut varier entre 0° et 180°.

Pour les planètes supérieures, il reste limité à de faibles valeurs : son maximum varie en sens inverse de leur distance au Soleil ; il est de 47° pour Mars, 12° pour Jupiter et 6° seulement pour Saturne.

(2) Ces définitions ont déjà été employées par SORET, *Annales de Physique et Chimie*, série 14 ; 188, p. 503.

CALCUL DE L'ANGLE DE VISION

Cas d'une planète. — La *Connaissance des Temps* donne les latitudes héliocentrique et géocentrique β et β' ainsi que les longitudes λ et λ' de la planète.

L'angle cherché V est donné par la formule :

$$\cos V = \sin \beta \sin \beta' + \cos \beta \cos \beta' \cos (\lambda - \lambda')$$

Lorsque $\lambda - \lambda'$ est petit, cette formule devient peu précise ; comme β et β' ne dépassent jamais 7° , j'ai employé dans ce cas la formule approchée suivante :

$$V^2 = (\beta - \beta')^2 + (\lambda - \lambda')^2.$$

De même, lorsque $(\lambda - \lambda')$ est voisin de π , on a sensiblement :

$$(\pi - V)^2 = (\beta + \beta')^2 + (\lambda - \lambda' - \pi)^2$$

Cas de la Lune. — Soient α et δ l'ascension droite et la déclinaison de la Lune, interpolées d'après la *Connaissance des Temps* pour l'heure de l'observation. Ces données étant relatives au centre de la Terre, il faut d'abord les réduire au lieu où les mesures ont été effectuées, en leur ajoutant les corrections suivantes :

$$\Delta \alpha = - \pi \cos \lambda \frac{\sin H}{\cos \delta}$$

et :

$$\Delta \delta = - \pi \sin \varphi \cos \delta + \pi \cos \varphi \sin \delta \cos H$$

π , parallaxe lunaire.

H , angle horaire de la Lune.

φ , latitude de l'observateur.

δ , déclinaison de la Lune.

Pour Paris, en prenant :

$$\varphi = 48^\circ 50' \text{ et } \pi = 57' 35'' \text{ (valeur moyenne)}$$

les formules deviennent :

$$\Delta \alpha = - 37' 35'' \frac{\sin H}{\cos \delta}$$

$$\Delta \delta = - 43' 5'' \cos \delta + 37' 35'' \sin \delta \cos H$$

Soient :

α_1 et δ_1 les valeurs corrigées ;

α' et δ' l'ascension droite et la déclinaison du Soleil. On peut calculer la distance angulaire T de la Lune et du Soleil par une formule semblable à celle qui a été donnée pour les planètes :

$$\cos T = \sin \delta_1 \sin \delta' + \cos \delta_1 \cos \delta' (\cos \alpha_1 - \alpha').$$

Sur la figure 5 où sont représentées schématiquement les positions L, T, S de



Fig. 5

la Lune, de la Terre et du Soleil, l'angle de vision cherché est l'angle L. Il est égal à : $\pi - T - S$.

D'autre part l'angle S, très petit, est donné par la formule :

$$\sin S = \sin T \frac{LT}{LS}$$

soit environ :

$$S = 8'40'' \sin T$$

d'où :

$$L = \pi - T - 8'40'' \sin T.$$

Lorsque les mesures portaient sur l'ensemble de la lumière de la Lune, j'ai introduit une légère correction pour rapporter l'angle V au centre du croissant. Il suffit pour cela d'augmenter V environ de : $5' (1 - \cos V)$.

Lorsque les mesures étaient faites sur une région déterminée, je traçais sur la carte de la Lune un axe passant par son centre et normal à la direction du Soleil. La correction cherchée était égale à la distance angulaire de la région considérée à cet axe, comptée positivement à l'opposé du Soleil.

Cas des éclipses de Lune. — Au cours d'une éclipse de Lune, quand la région observée est située dans la pénombre, il faut encore tenir compte de la déformation du disque solaire, causée par la présence de la Terre.

Vers l'opposition, il est donc plus facile de calculer les angles V et X, au moyen d'un graphique tel que celui de la figure 6 qui est relative à la nuit du 28 au 29 janvier 1926.

Le centre des coordonnées est supposé coïncider avec le centre du cône d'ombre de la Terre.

Soient :

α et δ l'ascension droite et la déclinaison de la Lune ;

α' et δ' celles du Soleil.

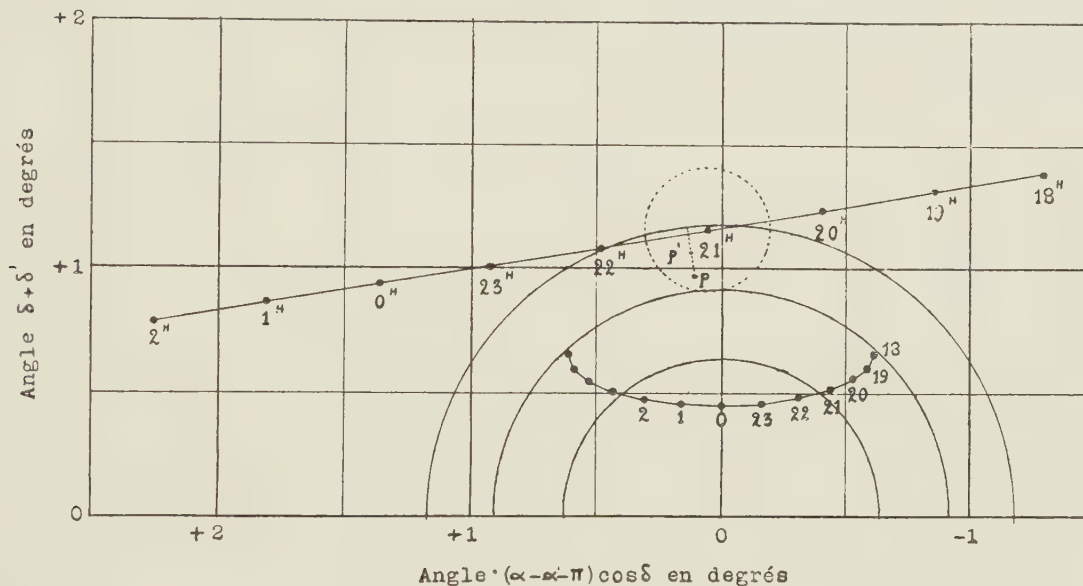
La courbe tracée à la partie supérieure a été obtenue en portant pour chaque heure :

en abscisses : $(\alpha - \alpha' - 180^\circ) \cos \delta$

en ordonnées : $\delta + \delta'$

elle représente la trajectoire de la Lune par rapport au centre du cône d'ombre, O.

Fig. 6 - Trajectoire de la Lune (nuit du 28 au 29 janvier 1926)



De O comme centre ont été tracés trois cercles d'environ $1^\circ 30'$, 2° et $2^\circ 30'$ de diamètre ; ils représentent l'ombre, l'ombre moyenne et la pénombre.

La trajectoire que décrirait l'ombre du point où se trouve l'observateur est une ellipse tangente intérieurement au cercle d'ombre moyenne et dont les points ont :

Pour abscisses :

$$- \cos \varphi \sin H$$

Pour ordonnées :

$$\sin \varphi \cos \delta + \cos \varphi \cos H$$

Plaçons un calque de la Lune convenablement orienté, centré sur la position qu'elle occupe à une heure déterminée. Joignons ensuite par une droite le point où se trouve alors l'ombre de l'observateur à une région donnée du calque. La longueur de cette droite représente l'angle de vision en cette région. L'angle qu'elle fait avec l'axe des ordonnées est égal à l'angle de position du plan de vision.

Quand la région considérée est dans la pénombre, j'ai remplacé le point P, où elle se projette sur le graphique, par le point P', milieu de sa distance au cercle

de pénombre, pour tenir compte approximativement du déplacement du centre de la source lumineuse, dû à ce que le Soleil est en partie masqué par la Terre.

CALCUL DE L'ANGLE DE POSITION DU PLAN DE VISION

Soient α et δ l'ascension droite et la déclinaison du Soleil ; α' et δ' , celles de la planète.

Traçons sur la sphère céleste, avec ces coordonnées, les positions S et P du Soleil et de la planète (fig.7).

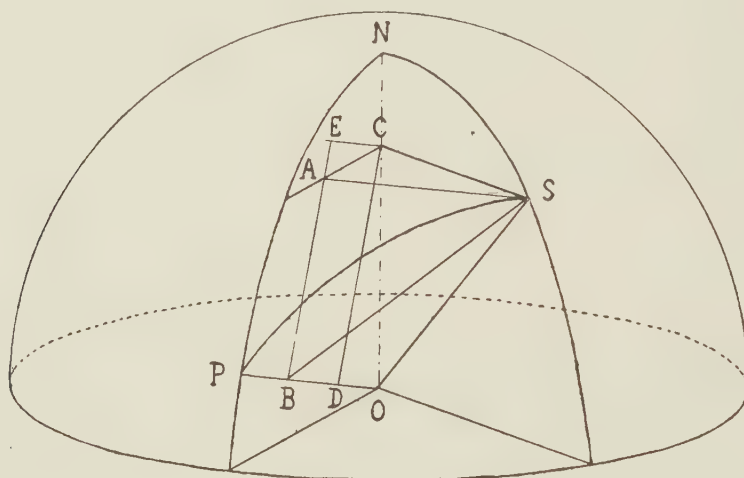


Fig. 7

Soit ON l'axe du monde. Traçons les méridiens NS et NP et l'arc de grand cercle PS. L'angle cherché est l'angle SPN.

Abaissons de S les normales SA et SB au plan NOP et à la droite OP. Nous avons :

$$\operatorname{tg} SBA = \frac{SA}{AB} = \operatorname{tg} SPN$$

Soit C le pied de la normale abaissée de S sur ON. Le triangle SCA donne :

$$SA = SC \sin (\alpha - \alpha') = \cos \delta \sin (\alpha - \alpha').$$

Abaissons de A et de C les normales AB et CD à OP.

Menons de C la parallèle à OP qui coupe BA en E.

Nous avons :

$$AB = EB - EA = CD - EA$$

$$CD = CO \cos \delta' = \sin \delta \cos \delta'$$

$$EA = CA \sin \delta' = \cos \delta \cos (\alpha - \alpha') \sin \delta'$$

d'où :

$$(6) \quad \operatorname{tg} P = \frac{\cos \delta (\sin \alpha - \alpha')}{\sin \delta \cos \delta' - \cos \delta \cos (\alpha - \alpha') \sin \delta'}$$

ou :

$$(7) \quad \operatorname{tg} P = \frac{\sin (\alpha - \alpha')}{\operatorname{tg} \delta \cos \delta' - \cos (\alpha - \alpha') \sin \delta'}$$

Lorsque $\delta - \delta'$ et $\alpha - \alpha'$ sont petits, la formule 6 donne :

$$\operatorname{tg} P = \cos \delta \frac{\sin (\alpha - \alpha')}{\sin (\delta - \delta')} = \cos \delta \frac{\alpha - \alpha'}{\delta - \delta'}$$

De même, lorsque $\delta + \delta'$ est petit et $\alpha - \alpha'$ voisin de π , les coordonnées du point anti-solaire sont : $\pi + \alpha$ et $-\delta$ et la formule devient :

$$\operatorname{tg} \operatorname{SPN} = \frac{\pi + (\alpha - \alpha')}{-(\delta + \delta')} \cos \delta'.$$

REPRÉSENTATION DES RÉSULTATS

Ainsi que nous le verrons au cours de ce chapitre, la lumière qui vient des planètes est polarisée le plus souvent, comme cela a lieu pour la simple diffusion, dans un plan soit parallèle, soit normal au plan de vision. Je considérerai la polarisation comme positive dans le premier cas, comme négative dans le second ⁽¹⁾.

Chacune des observations relatives à une même planète sera représentée par un point ayant pour abscisse l'angle de vision et pour ordonnée la proportion de lumière polarisée prise avec son signe. La courbe passant par ces points caractérisera l'état physique de la planète considérée.

La comparaison des courbes obtenues à deux époques différentes montrera si cet état physique s'est modifié.

Enfin, un plan de polarisation qui ne serait ni parallèle ni normal au plan de vision, révélerait l'existence de phénomènes différents de la simple diffusion.

ETUDE DE LA LUMIÈRE SOLAIRE

Avant d'aborder l'étude des planètes, nous allons examiner la source qui les éclaire. On admet, d'une manière générale, que la lumière du Soleil n'est pas polarisée ; mais cette conclusion n'avait pu être vérifiée, jusqu'ici, avec une précision supérieure au centième. J'ai examiné fréquemment la surface solaire avec mon polarimètre muni d'un verre noir et monté sur la lunette de 0^m,175 d'ouver-

(1) La même convention a été faite par SORET (*Annales de physique et chimie*, 14, 188, p. 503).

ture, sans trouver sur cette surface aucune trace de polarisation. J'ai repris alors ces observations à l'aide d'une petite lunette de 20 millimètres d'ouverture, en faisant précéder mon polarimètre d'une glace mince. Cette glace était traversée par les rayons sous une incidence d'une dizaine de degrés et son plan d'incidence était perpendiculaire à celui de la première lame du polarimètre. Cet ensemble était pointé sur le Soleil et pouvait tourner facilement autour de l'axe commun du polarimètre et de la lunette. Dans ces conditions, le polarimètre accusait une proportion de lumière polarisée indépendante de son orientation et qui restait voisine de 3,5 millièmes à un millième près. La polarisation du Soleil est donc très inférieure à 1 p. 1 000 et ne doit sans doute pas atteindre deux ou trois millièmes. Elle ne peut alors exercer aucune influence sur les résultats relatifs aux planètes. J'ai répété ces mesures le 6 et le 7 août 1924 sur le Soleil couchant, à 2 degrés de l'horizon, par un ciel très transparent. Elles ont donné des polarisations inférieures à 0,5 millièmes. La réfraction des rayons à travers l'atmosphère ne polarise donc pas la lumière, ainsi qu'on pouvait le prévoir, et il est possible de mesurer correctement la polarisation des planètes, aussi près de l'horizon que la transparence atmosphérique le permet.

La Lune.

Conditions d'observation. — L'angle de vision de la Lune varie dans de larges limites, grâce au mouvement de notre satellite autour de la Terre. Pourtant, à certaines oppositions, cet angle ne descend pas au-dessous de 5° environ, par suite de l'inclinaison de l'orbite lunaire ; un observateur, placé sur la Terre en un lieu déterminé, le voit s'annuler seulement au cours de certaines éclipses de Lune (voir p. 34).

D'autre part, lorsque la conjonction approche, la brillance du croissant diminue beaucoup plus vite que la loi de Lambert ne l'indiquerait ; la proximité du Soleil oblige, en outre, à observer dans la lumière du crépuscule ou de l'aurore et les mesures deviennent impossibles quand l'angle de vision dépasse 160°.

Par contre, le grand diamètre apparent de notre satellite et l'absence d'atmosphère sensible à sa surface facilitent beaucoup l'observation séparée des diverses parties de son sol.

J'ai pu effectuer des mesures entre 0°21' et 159°26'.

POLARISATION DE LA LUMIÈRE GÉNÉRALE DE LA LUNE

Afin de fixer le caractère général de la Lune et de faciliter ultérieurement sa comparaison avec les planètes, nous allons d'abord étudier l'ensemble de sa lumière.

Dispositif expérimental. — Pour cette étude, l'objectif de la lunette astronomique était remplacé par une lentille de 18 centimètres de foyer, placée dans le tube du polarimètre de manière que l'un de ses foyers coïncide avec la surface extérieure du polariscope. L'autre foyer était occupé par un diaphragme de 8 millimètres de diamètre.

Le polariscope était recouvert d'un œilleton de 4 millimètres de diamètre, au centre duquel se formait une petite image de la Lune. L'œil, placé contre cet œilleton, recevait l'ensemble de la lumière de notre satellite et voyait les franges du polariscope se projeter sur l'image virtuelle du diaphragme située à l'infini.

Lorsque l'angle de vision était inférieur à 120° , les mesures pouvaient être effectuées facilement en pleine nuit, à n'importe quelle saison.

Quand, au contraire, il dépassait cette valeur, j'étais obligé d'observer, soit vers l'équinoxe de printemps, peu de temps après le coucher du Soleil, soit vers l'équinoxe d'automne, peu avant son lever. La lumière du ciel était quelquefois gênante ; j'avais alors soin de l'affaiblir en substituant à l'œilleton une feuille de clinquant percée d'une ouverture en forme de croissant qui encadrait l'image de la Lune. Grâce à ce dispositif, je n'ai pas eu besoin de compenser la polarisation atmosphérique : j'effectuais quelques mesures préliminaires dès que la Lune apparaissait à l'œil nu ; les chiffres trouvés variaient d'abord assez rapidement avec l'éclat du ciel, puis devenaient constants ; je commençais alors seulement les mesures proprement dites.

Quand l'angle de vision dépassait 150° , le croissant était extrêmement délié et l'œil ne recevait plus assez de lumière. Dans ce cas, je plaçais le polarimètre à l'extrémité oculaire de la grande lunette de Meudon, en supprimant la lentille et son diaphragme qui se trouvaient remplacés par l'objectif de 0^m,83.

L'image du croissant avait 16 centimètres de diamètre, mais sa largeur était très faible ; en particulier, pendant les soirées du 6 avril et du 5 mai 1924, elle mesurait, en son milieu, respectivement 6 millimètres et 3 millimètres ; j'effectuais alors une série de mesures en formant successivement sur l'œil l'image de divers segments du croissant. Leurs polarisations étaient assez voisines pour qu'il suffise d'en prendre la moyenne.

Les mesures relatives aux très petits angles de vision ont été obtenues au cours de l'éclipse du 8 février 1925, où la Lune a traversé la partie nord du bord de l'ombre.

Plan de polarisation. — Soixante et une observations ont été faites par cette méthode. Le plan de polarisation a toujours été trouvé, tantôt parallèle, tantôt normal au plan de vision, à quelques degrés près. Suivant les conventions établies page 50, j'ai affecté aux proportions de lumière polarisée le signe + dans le premier cas et le signe — dans le second.

Proportion de lumière polarisée. — Les résultats obtenus sont résumés par le tableau III. La courbe A, figure 8, décrite dans le sens de la flèche, montre comment varie la proportion de lumière polarisée au cours d'une lunaison.

TABLEAU III

Lune : Lumière générale.

	Date et Heure		▼	M	E	P	O
1922	7 juillet	23 ^h	14°31' C	10	1,1	— 10 *	17
	9	0 ^h	4 34 C	10	0,6	— 7,7*	17
	8 août	21 ^h 30 ^m	13 50 D	15	1,8	— 11,8*	17
	9	22	24 55 D	5	0,7	+ 2,5*	17
	2 novembre	20 30	21 20 C	8	0,3	— 3,6*	12
	4	22	4 30 D	13	0,5	— 8,5*	12
1923	31 décembre	21	27 36 C	8	1,3	+ 6,6*	12
	1 janvier	18	17 54 C	8	0,8	— 7,7*	12
	3	21	10 49 D	8	0,9	— 11,8*	12
	19 août	20	82 29 C	6	1,2	+ 65,3	..
	20	20	69 35 C	4	1,7	+ 57,5	..
	22	20	43 56 C	4	0,2	+ 28,8	..
	23	20	31 16 C	4	0,4	+ 9,2	..
	24	20	19 09 C	1	..	— 6,4	..
	25	20	6 48 C	3	0,4	— 10,2	..
	13 octobre	18	132 11 C	3	1,1	+ 51,6	..
	14	18 10	117 33 C	3	1	+ 61,8	..
	15	19 15	103 54 C	4	0,8	+ 64,8	..
	16	20	90 55 C	6	0,6	+ 65,2	..
	17	18	80 15 C	4	0,8	+ 62,2	..
	19	19 15	55 30 C	3	0,6	+ 40,6	..
	21	21	29 25 C	5	0,4	+ 11,3	..
	22	18 30	21 48 C	3	0,2	— 2,3	..
	26	20	23 17 D	4	0,3	— 0,3	..
	28	22	45 55 D	4	0,4	+ 33,2	..
	29	21 40	57 0 D	4	0,4	+ 50,3	..
	30	23	68 37 D	4	0,7	+ 67,6	..
	31	0	80 34 D	11	2,5	+ 79,4	..
	3 novembre	2 30	105 45 D	7	0,4	+ 88,0	..
	4	5 45	119 13 D	3	1,8	+ 70,8	..
	5	4	132 21 D	9	0,8	+ 59,3	..
	6	5	146 27 D	9	1,0	+ 40,1	..
	12	18 15	123 16 C	5	0,8	+ 57,5	..
	13	17 15	110 45 C	4	0,8	+ 66,4	..
	16	17	74 46 C	4	0,5	+ 60,3	..
	17	18	63 7 C	4	0,3	+ 52,3	..
	10 décembre	17 30	143 24 C	7	0,8	+ 41	..
	23	21 30	8 28 D	5	0,3	— 12,2	..

	Date et Heure		V	M	E	P	O
1923	24 décembre	23 ^h	19°29' D	6	0,4	— 5,5	..
	28	23	66 52 D	10	1,5	+ 64,8	..
1924	28 janvier	1	75 10 D	5	1,5	+ 74,1	..
	29 février	6	112 8 D	11	1,1	+ 87,8	..
	6 avril	20	151 55 C	4	1,0	+ 33 *	81
	25	3	76 42 D	8	0,6	+ 76,7	..
	26	4	89 46 D	4	0,8	+ 83,6	..
	27	3 30	109 28 D	6	1,6	+ 96,6	..
	5 mai	20	159 26 C	3	0,6	+ 29,8*	81
	8 février	.....	0 21	3	0,4	— 0,5*	12
1925	.....	.....	0 54	3	0,4	— 3,3*	12
	.....	.....	1 22	2	0,3	— 4,7*	12
	1 juillet	23	58 35 C	3	0,7	+ 48,4	..
	3	21 30	33 16 C	6	0,3	+ 13,9	..
	5	23 30	3 40 C	6	0,3	— 7 *	11
	6	2	2 33 C	4	0,2	— 5,5*	11
	7 août	0	35 3 D	5	0,3	+ 16,3	..
	7	22	47 28 D	5	0,5	+ 35,2	..
	30	22	40 15 C	5	0,2	+ 24,7	..
	4 septembre	21 30	28 28 D	5	0,5	+ 7,9	..
	5	21	40 56 D	4	0,2	+ 27,1	..
	24 octobre	21	24 5 C	9	0,9	+ 2,0*	8

V : angle de vision.

M : nombre de mesures.

P : proportion moyenne de lumière polarisée exprimée en millièmes.

E : écart moyen des diverses valeurs trouvées pour P avec la moyenne de ces valeurs.

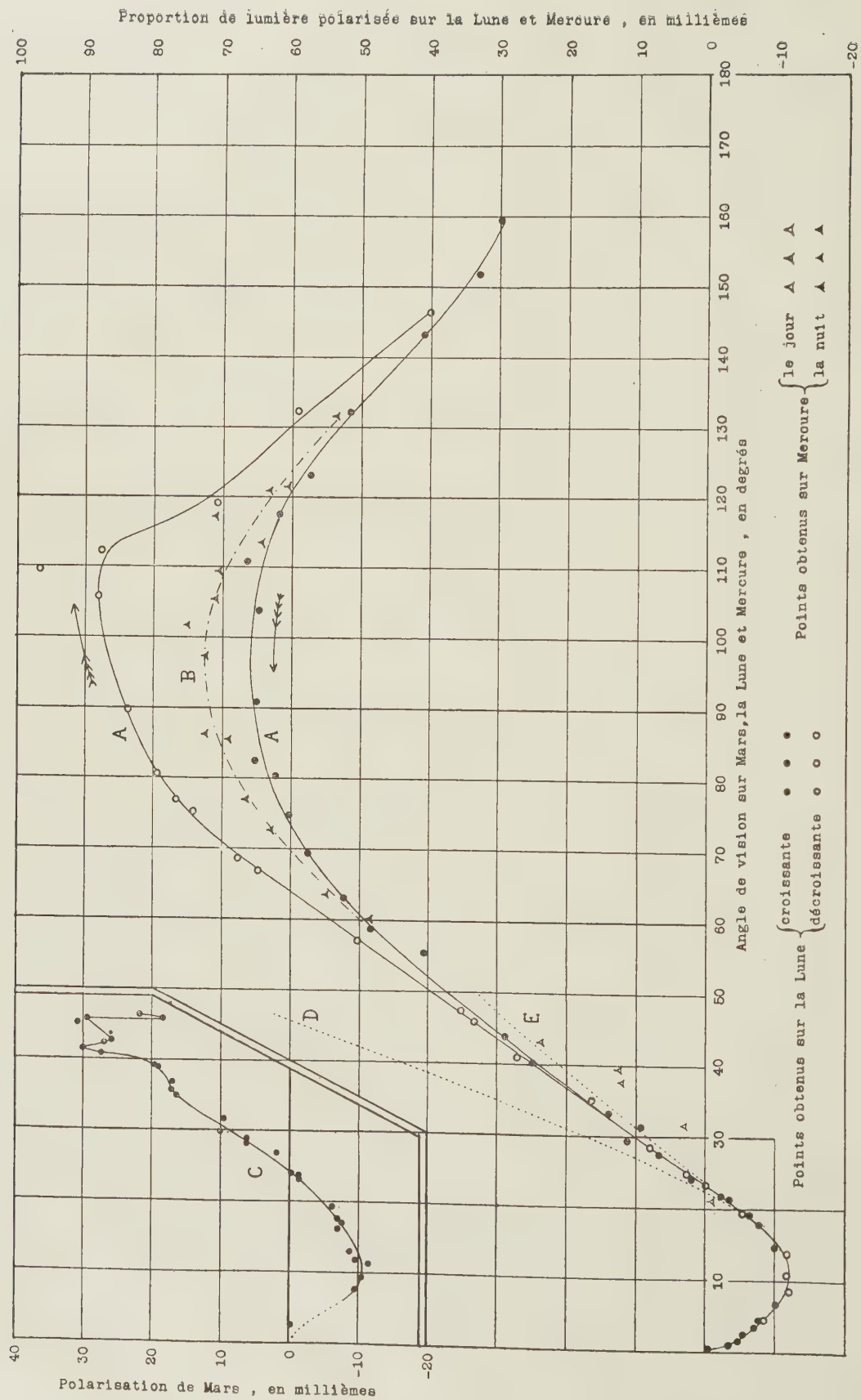
Les polarisations marquées d'un astérisque sont des moyennes relatives à diverses régions

La dernière colonne O indique l'ouverture libre de l'instrument employé à cet effet (le chiffre 83 est relatif à la grande lunette de Meudon ; les chiffres inférieurs à 17^{cm},5 sont relatifs à la lunette de 175 millimètres ; lorsqu'aucun chiffre n'y figure, la polarisation correspondante a été obtenue avec le dispositif décrit page 39).

Les points appartiennent à diverses lunaisons ; on voit que la polarisation est repassée plusieurs fois sensiblement par les mêmes valeurs, sauf peut-être au voisinage des quadratures où la libration semble exercer une légère influence.

Vers ces époques, la polarisation atteint un maximum et son plan est parallèle au plan passant par le Soleil, comme l'ont constaté Arago et ses successeurs. Le maximum est de 66 millièmes quand la Lune croît et de 88 millièmes lorsqu'elle décroît. Cette différence est due à ce que les mers occupent une étendue environ deux fois plus forte au dernier quartier qu'au premier.

La chute brusque qui succède au dernier quartier coïncide avec la disparition, au terminateur, des régions les plus sombres de la mer des Nuées et de la mer des Pluies.



Vers la nouvelle Lune, la polarisation diminue et les deux branches de la courbe se rapprochent rapidement. Il en est de même vers la pleine Lune : elles viennent se confondre entièrement au-dessous de 35° .

En approchant de la pleine Lune, deux jours environ avant celle-ci, lorsque l'angle de vision atteint $23^{\circ}30'$, la polarisation s'annule et reparait, quelques heures après, dans un plan perpendiculaire.

Elle passe, ensuite, par un minimum négatif de — 12 millièmes pour l'angle de 11° , puis tend assez rapidement vers 0 pour s'annuler finalement en même temps que l'angle de vision. Après l'opposition, les mêmes phénomènes se reproduisent en sens inverse, d'une manière absolument symétrique.

Cette inversion du plan de polarisation n'avait jamais été observée ; Arago et ses successeurs n'ont trouvé sur la Lune aucune polarisation sensible au-dessous d'une trentaine de degrés ; pourtant la polarisation est importante pour l'angle de 10 degrés et peut être facilement décelée jusqu'à 1 degré de la direction opposée au Soleil où elle dépasse encore le millième. Nous retrouverons plus loin, dans d'autres cas, un phénomène semblable.

ETUDE RÉGIONALE

On peut se demander, d'après les résultats précédents, si les phénomènes décrits au début de ce chapitre s'appliquent à toute la Lune, ou si la polarisation ne suit pas des lois très différentes d'une région à l'autre et dont la courbe observée serait la résultante. D'autre part, l'étude des détails du sol lunaire doit être d'un grand secours pour interpréter, par analogie, les résultats que l'on obtient en observant les autres planètes. C'est ce qui m'a amené à entreprendre l'étude des diverses régions de la Lune.

Plan de polarisation. — Nous connaissons déjà le plan de polarisation de l'ensemble de notre satellite ; l'expérience suivante montre qu'il est le même en chaque point :

Si l'on fait tourner le polarimètre en plaçant sa lame compensatrice normalement au faisceau, on trouve une position telle que les franges gardent la même intensité pour les deux positions du comparateur. Cet équilibre, établi sur une région déterminée de la Lune, se conserve lorsqu'on fait passer successivement au centre du champ les différents points de la surface lunaire. J'ai répété l'expérience à plusieurs reprises, pour des phases diverses du satellite, sans jamais constater de différence certaine entre deux régions.

Près du dernier quartier, la méthode est très sensible, car la polarisation atteint alors son maximum. Sur les régions claires, où la proportion ne dépasse guère 50 millièmes, le plan peut être défini, comme l'indique la formule 3, page 19,

à : $\frac{1}{2\,000} \times \frac{1}{0,05}$ soit à $\frac{1}{100}$ près, c'est-à-dire 34 minutes. Sur les mers, où la polarisation est bien plus forte, la précision est trois à quatre fois meilleure.

Le plan de polarisation est donc le même sur les terres et sur les mers, à moins d'un demi-degré près. Il ne dépend pas de l'orientation de la surface de la Lune par rapport aux directions de la Terre et du Soleil, comme on aurait pu le supposer, mais seulement de l'orientation du plan de vision auquel il est toujours, soit parallèle, soit normal.

Proportion de lumière polarisée. — Au voisinage du premier quartier, à l'inverse du plan de polarisation, la proportion de lumière polarisée présente, d'un point à l'autre, des différences considérables. Elle varie grossièrement en raison inverse de l'albédo.

Sur les régions les plus claires de tout le disque, elle ne dépasse pas 48 millièmes. Sur les terres, son maximum est compris généralement entre 65 et 75 millièmes. Sur les mers, il varie le plus souvent entre 120 et 160 millièmes. Les polarisations maxima comprises entre 75 et 120 millièmes sont très rares sur la Lune.

La polarisation des mers varie très irrégulièrement d'un point à l'autre, ce qui obligerait à bien définir la région étudiée. Celle des terres est plus constante et plus facile à mesurer.

La troisième colonne du tableau IV donne, à titre d'exemple, les polarisations maxima de quelques régions classées par ordre d'albédo décroissant ⁽¹⁾. Elles sont relatives à des aires d'environ 1' de diamètre : suivant le point considéré, les mesures ont été faites, soit vers le premier quartier, soit vers le dernier.

Si l'on compare, au moment des quadratures, la polarisation de régions d'égale teinte placées en des points très différents de la Lune, on ne constate pas de différence systématique entre le centre et les bords du croissant. Près du terminateur, au contraire, la polarisation subit un accroissement assez important dont l'existence a été signalée par Secchi (voir p. 3).

Cet effet est très marqué sur les mers où il est sensible à partir de 10° sélénocentriques, environ, du bord de l'ombre. Très près du bord, la proportion de lumière polarisée va quelquefois jusqu'à augmenter de moitié.

Par conséquent, la polarisation est indépendante de l'angle que fait la surface de la Lune avec la direction de l'observateur. La proportion de lumière polarisée ne dépend de l'angle d'incidence des rayons solaires qu'au voisinage du terminateur où cet angle est petit.

⁽¹⁾ Les valeurs que j'ai trouvées pour la polarisation générale de la Lune et celles qui figurent dans ce tableau représentent environ le tiers des chiffres donnés par Landerer et Barabascheff (voir pages 4 et 5). Il est difficile d'expliquer un tel désaccord. Par contre, mes résultats confirment ceux de Lord Ross qui trouva, pour l'ensemble de la mer des Crises, un maximum de 120 millièmes.

TABLEAU IV

Polarisation de quelques régions lunaires.

Désignation de la Région	Quartier	P max.	Angle d'inversion	P min.
Tache très blanche à l'emplacement de Furnerius.....	Premier +	48	.....	— 9,5
Centre du massif montagneux au S. S. O. de Proclus ...	Premier +	65	.....	.....
Terres au Nord d'Hipparque.....	.....	...	23°35'	.....
Centre du massif montagneux au Nord de Capella	Premier +	75	23 30	— 12,0
Centre de Palus Somnii	Premier +	73	.....	— 11,1
Golfe des Iris	Dernier +	120	.....	.....
Mer du Nectar (partie Sud)	Premier +	121	.....	.....
Mer des Crises (partie sud)	Premier +	147	23 10	— 12,5
Mer de la Fécondité (à l'Ouest de Messier).....	Premier +	140	.....	.....
Mer des Pluies (Nord-Ouest de Leverrier)	Dernier +	155	22 50	.....
Mer de la Sérénité(Ouest (de Linné) .....	.....	...	23 15	— 12,3
Océan des Tempêtes (Est de Képler) .....	.....	...	22 40	.....
Mer de la Tranquillité (Nord de Maskelyne)	Premier +	160	23 15	— 12,0
Arène de Platon	Dernier	...	.....	— 11,8
Tache très sombre entre Eratosthène et Mösting	Dernier +	170	.....	.....

En allant du premier quartier vers la pleine Lune, les polarisations de toutes les régions diminuent en se rapprochant de celle que présente la lumière générale de notre satellite et les différences entre les terres et les mers, si considérables vers les quadratures, deviennent presque insensibles.

La figure 8 montre clairement ce phénomène : La courbe en trait plein A donne la polarisation générale de la Lune, les courbes en traits pointillés D et E sont relatives à deux des régions où la polarisation est la plus forte et à une de celles où la polarisation est la plus faible. Toutes ces courbes se resserrent et viennent couper l'axe des abscisses en des points très voisins ; elles restent ensuite presque entièrement confondues.

Cette inversion du plan de polarisation est très curieuse et je l'ai observée à plusieurs reprises. Voici ce que l'on constate : deux jours environ avant la pleine Lune, lorsque l'angle de vision atteint 24° au centre, la proportion de lumière polarisée est devenue très faible sur toute la Lune, sans que le plan de polarisation paraisse avoir changé ; elle est, en moyenne, plus faible vers le bord précédent que vers le bord suivant, car l'angle de vision y est plus petit de 30'. Ce léger effet est, en grande partie, masqué par les différences qui subsistent entre les mers et les terres.

La polarisation disparaît, en premier, sur une zone de 1' de rayon environ s'étendant au Nord-Ouest de Tycho et en quelques points des montagnes du Nord-Est, puis sur l'ensemble des terres, le golfe des Iris et quelques mers de

teinte rougeâtre. La plupart des mers et, enfin, une région étendue située à l'Est de Képler cessent à leur tour d'être polarisées, tandis que l'on commence à apercevoir, sur les terres, une très légère polarisation de sens inverse qui s'étend bientôt à l'ensemble du disque.

Le plan de polarisation est alors, autant qu'on peut le déterminer, perpendiculaire à la direction qu'il occupait précédemment.

On ne constate plus, entre les diverses régions, que de très faibles différences. Leurs polarisations passent, vers l'angle de vision de 11° , par des minima très voisins et tendent vers zéro au cours des éclipses de Lune, lorsqu'on approche de l'opposition exacte.

Le tableau IV, page 45, donne quelques valeurs de l'angle d'inversion et du minimum de polarisation. Il est très remarquable que, ni la position du point d'inversion, ni l'amplitude du minimum ne dépendent de l'orientation de la surface lunaire aux points observés.

POLARISATION PAR DIFFUSION OBLIQUE

Certains corps vitreux, éclairés très obliquement, peuvent polariser la lumière même lorsqu'on les examine dans la direction des rayons incidents. Ce phénomène a été observé par Salet, sur du grès fondu ⁽¹⁾. J'ai cherché si la Lune ne présente pas une propriété analogue.

Le 19 novembre 1926, à 20 heures, soit quelques heures après l'opposition, la polarisation était faible sur toute la Lune. Pour que celle-ci soit sans effet, j'ai orienté le polarimètre à 45° du plan passant par le Soleil.

Dans ces conditions, certaines régions, au bord extrême, ont montré une très faible polarisation s'élevant parfois jusqu'à deux millièmes et s'étendant, au maximum, jusqu'à une quinzaine de secondes d'arc du limbe. En ces points, l'angle de la surface avec le rayon visuel était inférieur à 10 degrés.

Le plan de polarisation semblait grossièrement parallèle au bord.

POLARISATION ELLIPTIQUE

On a admis, jusqu'ici, que la lumière de la Lune possède une polarisation rectiligne. Cette assertion est confirmée, en première approximation, par le fait que les franges de mon polariscope disparaissent complètement lorsqu'elles sont orientées à 45° du plan passant par le Soleil.

J'ai cherché, cependant, si les vibrations provenant de certaines régions du sol lunaire ne posséderaient pas une légère ellipticité, trop faible pour pouvoir être décelée ainsi.

(1) SALET, *Thèse*, 1910, p. 58.

J'ai utilisé pour cela la lunette de 0^m,175 d'ouverture, diaphragmée à 80 millimètres, pour réduire, autant que possible, l'influence de la trempe de l'objectif, qui paraissait insensible vers le centre. Le polarimètre, monté à l'extrémité oculaire, était muni du dispositif décrit page 26. La lame quart d'onde pouvait tourner de 90° de manière que son axe de propagation lente soit tantôt à 45° à droite, tantôt à 45° à gauche de l'axe de la lame compensatrice.

Pour effectuer les mesures, je retirais le quart d'onde du faisceau et je repérais la direction du grand axe de l'ellipse suivant la méthode exposée page 18. Cette opération avait pour effet de placer l'axe de la lame compensatrice à 45° à gauche du plan de polarisation, donc à 45° à droite du grand axe de l'ellipse.

Si l'ellipse est décrite, pour l'observateur, dans le sens trigonométrique, lorsqu'on fait tourner le quart d'onde de 90° après l'avoir placé sur le faisceau, le plan de polarisation de la lumière qui l'a traversé tourne dans le même sens que lui. On doit alors trouver un angle de position plus grand lorsque le quart d'onde est dans sa position gauche que lorsqu'il est dans sa position droite.

Soit α la différence des deux lectures, le rapport des axes de l'ellipse est égal à $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$.

Les ellipticités trouvées par ce moyen sont très faibles, inférieures à $\frac{1}{80}$, presque toujours dans le sens trigonométrique.

Le 24 octobre, j'ai cherché si ces phénomènes n'avaient pas une cause instrumentale en répétant les mêmes opérations sur les mêmes régions, après avoir fait tourner la lunette de 90° autour de son axe.

Les ellipticités ont été inverses, ce fait montre qu'elles sont dues en partie à l'objectif. Les verres produiraient une ellipticité de 6/1000. La Lune interviendrait pour une part beaucoup plus faible. Sur la mer de la Sérénité, au Nord Est de Linné, le rapport des axes de l'ellipse serait de 2,5/1000. Sur les monts au Nord-Est de Maurolycus, ce rapport serait de 1,4/1 000. La vibration tournerait, pour l'observateur, dans le sens trigonométrique. Ces chiffres sont de l'ordre des erreurs expérimentales.

En effet, sur les mers, lorsque la polarisation atteint 150 millièmes, l'ellipticité est définie à $\frac{1}{500}$ près (voir p. 19, formule 4) ; sur les terres où la polarisation excède de peu 50 millièmes, l'erreur est trois fois plus forte. Nous pouvons donc considérer la lumière de la Lune comme très sensiblement rectiligne.

De nombreuses mesures, répétées pour deux positions rectangulaires de l'objectif, seraient nécessaires pour mettre en évidence une trace d'ellipticité, si elle existe.

Mercure.

Conditions d'observation. — La planète Mercure, gravitant autour du Soleil sur une orbite intérieure à celle de la Terre, parcourt, comme la Lune, toute la série des phases, mais sa faible distance au Soleil limite beaucoup les conditions dans lesquelles on peut l'observer et rend assez difficile l'étude de sa polarisation.

Son élongation ne dépasse pas 27 degrés et, dans nos régions, si l'on désire l'observer la nuit pour s'affranchir de la polarisation atmosphérique, il faut choisir les deux époques de l'année où l'écliptique coupe l'horizon sous l'angle le plus grand. On doit alors chercher la planète, soit vers l'équinoxe de printemps, à la tombée de la nuit lorsqu'elle est à l'Est du Soleil, soit à l'équinoxe d'automne, à l'aurore, lorsqu'elle est à l'Ouest.

Malheureusement pour les observateurs de l'hémisphère Nord, à ces époques, Mercure est toujours proche de son périhélie et sa plus grande élongation ne dépasse pas une vingtaine de degrés. Par contre, sa latitude est positive de 1 ou 2 degrés, ce qui facilite un peu les observations.

La proportion de lumière polarisée de Mercure cesse pratiquement d'être influencée par la polarisation du ciel lorsque le Soleil est à 4 degrés au-dessous de l'horizon. La lumière du crépuscule est suffisamment faible vis-à-vis de celle de la planète et son plan de polarisation, presque horizontal, est sensiblement à 45 degrés de celui de Mercure. D'autre part, l'absorption atmosphérique oblige, en général, à cesser les mesures lorsque la hauteur de Mercure descend au-dessous de 4 degrés.

Il faut donc observer par un ciel bien pur et opérer rapidement. Dans les meilleures conditions, le temps dont on dispose atteint seulement 45 minutes à la plus grande élongation et diminue rapidement de part et d'autre. La période utilisable est ainsi limitée à une vingtaine de jours pendant lesquels l'angle de vision varie de 60 à 130 degrés environ.

Les mesures relatives à d'autres angles doivent être effectuées pendant la journée, en compensant la polarisation atmosphérique. Elles présentent de grosses difficultés : de même que pour la Lune, la brillance du croissant de Mercure diminue rapidement lorsque celui-ci s'amincit, ce qui empêche de l'observer pour des angles de vision supérieurs à 130 degrés.

Lorsque l'angle de vision est inférieur à 60 degrés, Mercure sous-tend seulement 5 à 6 secondes, il se trouve près du Soleil, dans une région où les particules en suspension dans l'atmosphère diffusent une lumière considérable et, par suite de son faible albédo, il atteint rarement un éclat égal à celui du ciel. Il faudrait alors, pour obtenir des mesures tant soit peu précises, que l'atmosphère possède une transparence exceptionnelle.

OBSERVATIONS EFFECTUÉES

J'ai profité de deux périodes favorables pour observer Mercure, la nuit, avec la grande lunette de Meudon.

1^o Du 16 au 29 mai 1922, cinq observations ont été faites par un ciel régulièrement beau et transparent jusqu'à une faible distance de l'horizon.

2^o Du 7 au 24 avril 1924, le temps, beau vers le début, a été troublé vers la fin par de violentes averses suivies d'éclaircies qui découvraient un ciel d'une transparence remarquable. En pointant la lunette avec les cercles à l'heure du coucher du Soleil, j'ai pu utiliser de courtes éclaircies pour faire un nombre suffisant de lectures.

J'ai eu soin de déterminer, comme pour la Lune, par des mesures préliminaires, l'instant où la lumière du ciel était devenue assez faible pour ne plus influencer les résultats.

La faible hauteur de Mercure obligeait l'observateur à s'élever très haut dans la coupole, dans des positions fortin commodés. Les images étaient, en général, extrêmement bouillonnantes et la dispersion atmosphérique étalait la planète en un petit spectre. Malgré cela, les franges apparaissaient aisément sur la tache lumineuse et les mesures donnaient la polarisation générale, à 2 ou 3 millièmes près. Par contre, l'étude séparée des diverses régions était impossible. Le grossissement employé était, en général, de 550, quelquefois de 350, lorsque l'absorption atmosphérique était forte.

J'ai fait également une série diurne d'observations, du 1^{er} au 20 août 1923, avec la lunette de 175 millimètres, en compensant la polarisation atmosphérique grâce au dispositif décrit page 28. Au cours des quatre dernières observations, Mercure était très pâle et la polarisation atmosphérique variait rapidement, ce qui obligeait à refaire constamment la compensation et rendait les mesures très difficiles. Les cinq premiers résultats de cette série sont incertains et les quatre derniers sont entièrement à rejeter.

LUMIÈRE GÉNÉRALE

La polarisation générale de Mercure s'est montrée assez forte et toujours très sensiblement dans le plan de vision. Les proportions de lumière polarisée sont données par le tableau V. Les variations de la proportion de lumière polarisée en fonction de l'angle de vision sont représentées par la courbe en traits hachurés B, figure 8, page 42. Les observations faites le soir, à la grande lunette, aux printemps 1922 et 1924, et le matin, avec la petite lunette, en novembre 1922, sont représentées par les points triangulaires noirs. Celles de l'été 1923, faites le jour, à la 175 millimètres, sont figurées par les triangles blancs.

Vers la quadrature, tous les points se placent sensiblement sur une même courbe comprise entre les branches croissante et décroissante de la courbe lunaire. La polarisation de Mercure était donc, vers ses élongations orientales de 1922 et 1924, supérieure de 5 millièmes seulement à celle de la Lune au premier quartier et reproduisait sensiblement ses variations.

TABLEAU V

Mercure : Lumière générale.

	Date et Heure	V	O	M	E	P	OBSERVATIONS
1922	16 mai	20 ^h	86°10' E	81	7	1,6	- 72,4
	20	20 ^h 5 ^m	97 23 E	81	3	2,7	+ 72,4
	23	20 15	105 29 E	81	2	1	+ 71,2
	26	20 30	113 34 E	81	2	2	+ 64,4
	29	20 15	121 33 E	81	2	0	+ 60,6
	1 ^{er} novembre	5 20	76 45 O	17	2	2	+ 66,6
	5	6 15	60 5 O	17	4	0,8	+ 48,5
1923	28 juillet	14	21 2 E	17	1	...	- 1
	1 ^{er} août	15	31 33 E	15	2	1	+ 2,8
	4	11	37 32 E	15	5	1,2	+ 11,9
	5	11	39 17 E	15	4	1,3	+ 12,3
	7	11	43 7 E	17	4	1,5	+ 23,6
	10	11	48 26 E	17	4	3,9	+ 52
	14	9	55 14 E	17	3	3,6	+ 57,7
	17	14	59 24 E	17	4	3,2	+ 73,5
	20	15	63 45 E	17	3	6,8	+ 55,8
1924	7 avril	19 30	63 32 E	81	3	0,9	+ 54,8
	9	19 30	72 33 E	81	5	0,7	+ 62,8
	12	19 30	85 28 E	81	6	1,8	+ 69,2
	16	19	101 41 E	81	3	1,6	+ 75,2
	18	19 15	109 26 E	81	7	1,4	+ 70,5
	20	19 20	117 2 E	81	5	1,2	+ 71,1
	21	19 30	120 46 E	81	5	0,7	+ 63,3
	24	19 40	131 44 E	81	5	1,5	+ 53,6

mesures médiocres.

ciel éclatant,
mesures très
médiocres

V : angle de vision.

O : ouverture libre de l'instrument en centimètres (les chiffres inférieurs à 17,5 correspondent à la petite lunette ; le chiffre 60 correspond au télescope Cassegrain ; le chiffre 81 correspond à la grande lunette).

M : nombre de mesures.

P : Proportion moyenne de lumière polarisée exprimée en millièmes.

E : écart moyen des valeurs trouvées pour P, avec la moyenne de ces valeurs.

Ce fait est très remarquable et paraît encore plus surprenant lorsqu'on considère la différence énorme qui existe alors entre les terres et les mers de notre satellite.

Pour les angles inférieurs à 60 degrés, la courbe de Mercure est mal connue. Son allure probable est tracée en pointillé, d'après les cinq premières mesures de jour de 1923 qui manquent malheureusement de précision. Elle semble s'écarter peu de la courbe lunaire. La polarisation paraît s'inverser entre 20 et 30 degrés.

Mars.

Conditions d'observation. — Décrivant une orbite extérieure à celle de la Terre, la planète Mars se présente à nous dans des conditions d'éclairement beaucoup moins variées que la Lune et Mercure. On sait, en effet, que ses phases sont peu accentuées.

Lorsque Mars est en quadrature, l'angle de vision passe par un maximum plus ou moins grand, suivant la distance de la planète au Soleil. Il atteint 47° si elle est alors au périhélie, 37° seulement si elle est à l'aphélie. A l'opposition il passe, au contraire, par un minimum compris entre 0° et 5° , suivant la latitude héliocentrique de Mars. Nous ne pouvons donc connaître, pour cette planète, que la portion de la courbe de polarisation comprise entre 0° et 47° .

En revanche, depuis la quadrature orientale jusqu'à la quadrature occidentale, Mars accomplit deux fois, en sens inverse, la série de ses phases et peut être observé en pleine nuit, assez loin de l'horizon. Son diamètre dépasse alors une dizaine de secondes, ce qui permet de mesurer séparément la polarisation de ses principales configurations.

De plus, grâce à la forte obliquité de son équateur sur le plan de l'écliptique, les régions polaires nord et sud s'inclinent alternativement vers la Terre et leur étude se trouve ainsi facilitée.

OBSERVATIONS EFFECTUÉES

J'ai fait sur Mars soixante-quinze observations en trois séries : la première allant du 11 juin au 25 novembre 1922, la seconde du 27 avril 1924 au 13 mars 1925, la troisième du 20 juin au 6 décembre 1926.

Première période (1922). — Pendant la première période, Mars est passé en opposition le 10 juin, au périhélie le 13 octobre et en quadrature Est le 9 octobre. La quadrature étant voisine du périhélie, l'angle de vision a atteint $46^{\circ}26'$, tandis qu'à l'opposition il est descendu à $2^{\circ}2'$. Le temps est resté généralement beau. Ces conditions étaient très favorables pour déterminer la courbe de polarisation.

D'autre part, la déclinaison de Mars était très australe, surtout à la date de l'opposition. A Paris, Mars passait au méridien à 15° seulement de l'horizon en

juin, juillet, août et septembre, à 16° , puis à 17° pendant la première moitié d'octobre. Ce fait contribua beaucoup à rendre les images bouillonnantes et empêcha souvent d'étudier les détails.

Je me suis donc attaché surtout à mesurer régulièrement la polarisation de l'ensemble de la planète.

Seconde période (1924-1925). — Pendant la seconde période, en 1924, Mars est passé en quadrature Ouest le 13 avril, en opposition le 30 août, en quadrature Est le 25 décembre. Sa latitude, à l'opposition, était presque maximum, de sorte que l'angle de vision est descendu seulement à $4^{\circ}58'$; à la quadrature Est, il n'a pas dépassé $4^{\circ}29'$.

Le temps, beau en général jusqu'en juillet, est devenu ensuite couvert et pluvieux, ce qui m'a empêché de faire des mesures suivies comme en 1922. Par contre, Mars était beaucoup plus haut, principalement vers la fin des observations, ce qui contribua à donner souvent de très bonnes images.

J'en ai profité surtout pour étudier séparément la polarisation des diverses régions de la planète.

Troisième période (1926). — Pendant la troisième période, Mars est passé en quadrature Ouest le 8 juillet 1926, en opposition le 4 novembre 1926 et en quadrature Est le 27 février 1927. A la quadrature Ouest, l'angle de vision a atteint $4^{\circ}22'$ tandis qu'à l'opposition, la latitude de Mars étant très faible, il est descendu à $0^{\circ}21'$.

J'ai utilisé cette période pour faire quelques mesures de la polarisation des régions centrales, destinées à être comparées à celles de 1922 et pour rechercher systématiquement, près des bords du disque, une polarisation due à l'obliquité des rayons diffusés, analogue à celle que paraissent présenter, à un faible degré, certains points du sol lunaire.

• RÉGIONS CENTRALES ⁽¹⁾.

Observations de 1922. — Toutes les valeurs trouvées ont été portées sur le

⁽¹⁾ Les bords du disque, principalement les régions polaires, étant le siège de phénomènes particuliers, au lieu de mesurer la polarisation moyenne de l'ensemble de la planète, j'ai préféré étudier celle d'une aire circulaire située au centre et occupant environ la moitié de sa surface. Les mesures étaient faites, soit en adaptant à la lunette un grossissement assez faible pour que cette aire soit entièrement couverte par le faisceau des franges, soit en effectuant, à l'aide d'un grossissement plus fort, des mesures séparées dont il suffisait ensuite de prendre la moyenne. Comme la polarisation variait en général très peu d'un point à l'autre, les deux méthodes convenaient également et donnaient les mêmes résultats.

tableau VI, page 56. Les points de la courbe C, figure 8, page 42, représentent les chiffres de 1922.

Pour tous les angles de vision inférieurs à 35° , cette courbe coïncide, d'une manière remarquable, avec la courbe générale de la Lune ; elle s'en écarte partout de moins de 1,5 millièmes.

Le minimum négatif est situé, comme pour la Lune, vers 11° , mais son amplitude, un peu plus faible, n'atteint que $-10,5$ millièmes. L'angle d'inversion semble un peu plus fort que sur notre satellite ; sa valeur la plus probable, relevée sur la courbe, paraît être de $24^{\circ}15'$, à $20'$ près.

A partir de 35° , au contraire, la polarisation subit des fluctuations importantes ; ses écarts atteignent jusqu'à 12 millièmes. Ces fluctuations ne sont pas dues uniquement aux variations de l'angle de vision, puisque celui-ci est resté constant vers la quadrature. Elles ne sont pas produites par la rotation de la planète, car la polarisation a pris des valeurs très diverses pour la même longitude du centre. Elles ne peuvent donc être attribuées qu'à des variations dans l'état physique de la surface de Mars ou de son atmosphère. Les résultats de 1924 vont nous permettre de les expliquer.

Observations de 1924-1925. — Ces observations sont représentées par les points de la figure 9. Au début des observations, vers la quadrature Est d'avril 1924, la polarisation a subi quelques fluctuations irrégulières, puis elle a varié, jusqu'à l'opposition, suivant la courbe en trait plein.

Cette courbe a la même allure que celle de 1922, mais ses ordonnées sont plus faibles, sauf pour les petits angles de vision. L'angle d'inversion, plus grand qu'en 1922, est d'environ 26° et le minimum, plus accentué, atteint $-12,5$ millièmes.

Après l'opposition, la polarisation est repassée, en sens inverse, sensiblement par les mêmes valeurs, pour atteindre, le 6 décembre, 26 millièmes (valeur inférieure de 3,5 millièmes à celle de la Lune). Deux jours après, elle descendit à 21 millièmes, sans aucune cause apparente. Mars présentait à nous sensiblement les mêmes régions et, comme il allait bientôt passer en quadrature, l'angle de vision restait très constant. D'autre part, malgré des images excellentes, aucune brume n'était visible sur la planète qui montrait des détails jusqu'à une demi-seconde du bord.

Le 19, reprenant les observations après quelques jours de mauvais temps, j'ai retrouvé Mars voilé par une brume épaisse de teinte jaunâtre, laissant à peine deviner les mers qui étaient, au contraire, intenses lors des observations précédentes. Le polarimètre n'accusait plus que 9 millièmes.

Ce voile épais persista un mois, sous toutes les longitudes, tandis que la polarisation augmentait lentement et irrégulièrement.

Le 18 janvier, je vis réapparaître les détails encore voilés d'une légère brume,

tandis que la polarisation subissait une légère recrudescence ⁽¹⁾. Cette éclaircie dura jusqu'à la fin des observations et les deux dernières mesures, du 17 février et du 13 mars, redonnèrent des chiffres correspondant à ceux de 1922 et à ceux de la Lune éclairée de la même façon.

On se rendra bien compte de ces anomalies en consultant la courbe A, figure 11, relative à la période troublée. Elle est construite en prenant comme abscisse les dates des observations. La courbe B, tracée en pointillé, indique quelle est la polarisation de la Lune pour les mêmes angles de vision.

Les irrégularités de la courbe de 1922 ont été causées, sans doute également, par des brumes beaucoup plus légères qu'en 1924 et qui auraient ainsi facilement échappé à la simple observation.

Observations de 1926. — Les mesures de 1926 sont en nombre un peu insuffisant pour permettre de tracer une courbe précise. La courbe qui est dessinée en trait plein, figure 10, accuse une polarisation plus faible que celle de 1922 pour les grands angles de vision.

La comparaison de ces courbes avec celle de la Lune montre que la polarisation du sol de Mars doit varier très exactement comme celle de notre satellite. L'atmosphère de Mars, *lorsqu'elle est très pure*, semble n'exercer aucune influence sur la polarisation. Parfois, elle se charge de brumes dont la polarisation est beaucoup plus faible que celle du sol ; ces brumes paraissent exercer une influence importante pour les grands angles de vision. Il serait donc facile de déceler ainsi des nuées beaucoup trop légères pour pouvoir être aperçues directement.

ETUDE RÉGIONALE

Mers et terres. — J'ai souvent comparé les mers et les terres de Mars, loin des bords ; les différences trouvées entre ces régions sont beaucoup moins accentuées que sur la Lune et paraissent, d'ailleurs, assez variables. La polarisation des mers était, en général, un peu plus forte que celle des terres.

Le 8 décembre 1924, sous un angle de vision égal à 42° , la Baie du Méridien passait au centre du disque et la polarisation allait de 17 à 19 millièmes sur les terres, de 20,5 à 21,5 millièmes sur les mers.

Le 14 septembre 1926, sous un angle de vision de 37° , la grande Syrte et les mers qui la prolongent vers le Sud avaient une polarisation de 17,5 millièmes,

⁽¹⁾ Un voile analogue a été vu, en 1909, par M. Antoniadi, et les remarquables observations qu'il a faites, en 1924, avec le même instrument (la grande lunette de Meudon), confirment les aspects qui viennent d'être signalés.

Fig. 9 - Mars, régions centrales 1924-1925

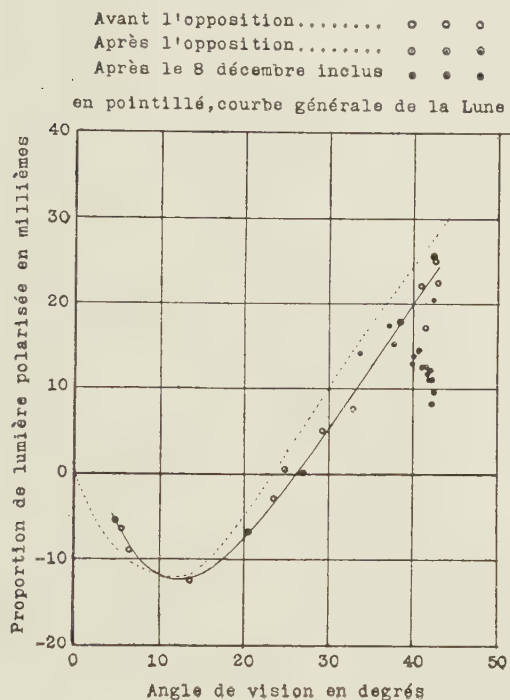


Fig. 10 - Mars, régions centrales 1926

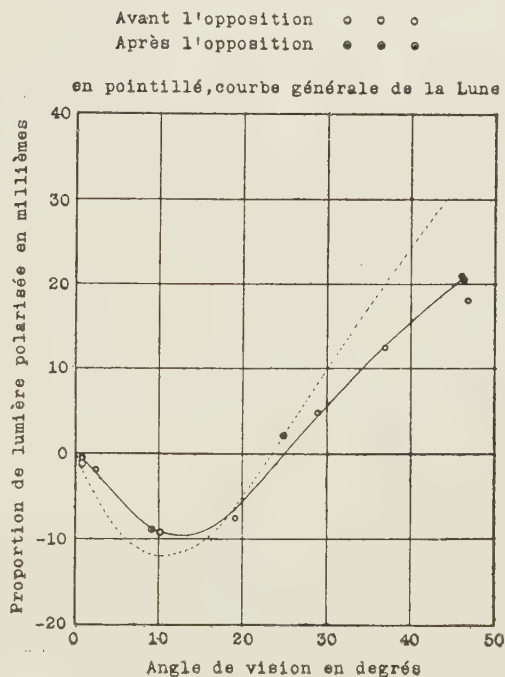


Fig. 11 - Mars - 1924-1925 -

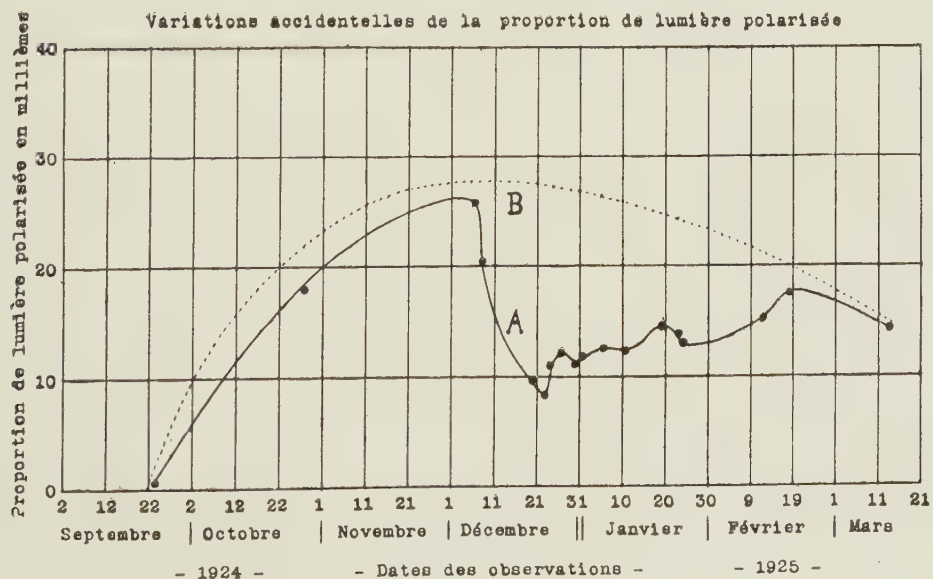


TABLEAU VI

Mars : Proportions de lumière polarisée.

Date et l'heure		V	λ_{sc}	O	C	RÉGIONS DIVERSES
1922	11 juin	21 ^h				
	18	20 ²² E	16,0	17	— 0,2	
	20	7 40 E	113	17	— 9,5	
	22	9 21 E	81	81	— 10,3	
	22	11 12 E	63	17	— 11,4	
	23	11 53 E	91	81	— 9,6	
	24	12 47 E	45	17	— 8,8	
	28	16 6 E	32	17	— 7,1	
	29	16 57 E	30	81	— 7,7	
	30	17 28 E	7	17	— 7	T = — 8,2 mers < terres
	2 juillet	19 16 E	349	17	— 6,3	
	7	23 3 E	311	17	— 1,5	
	8	23 38 E	310	17	— 1,4	
	9	23 58 E	286	17	— 0,3	mers < terres
	13	26 51 E	293	81	+ 1,9	
	15	28 4 E	232	17	+ 6,2	mers < terres
	16	28 38 E	193	17	+ 6,1	calotte S = + 32 calotte N = + 6,2
	18	29 47 E	182	17	+ 10	L et T > C
	21	31 26 E	155	17	+ 9,5	calotte S = + 30
	28	34 49 E	112	17	+ 16,2	
	30	35 39 E	94	17	+ 17	
	2 août	36 50 E	59	17	+ 16,9	
	8	38 55 E	350	17	+ 19	
	9	39 14 E	341	17	+ 19,4	calotte N = + 35
	15	40 41 E	275	17	+ 27,2	T > C
	16	41 13 E	566	17	+ 30	

Date et Heure			•			RÉGIONS DIVERSES	
			V	ac	O	C	
1922	20 août	21 ^h	42°09'E	242°0	17	+ 26,7	
	22	21	42 30 E	223	17	+ 25,7	
	14 septembre	20	45 42 E	349	60	+ 29,4	
	15	20	45 45 E	339	63	+ 18,2	
	12 octobre	18	46 13 E	50	81	+ 21,8	
	2 novembre	18	45 16 E	72	17	+ 31,8	
	25	18	43 18 E	81	17	+ 26	
	27 avril	4	42 47 O	98	12	+ 25,2	calotte S = + 52
	4 mai	4	42 54 O	29	81	+ 22,4	calotte S = + 29
	3 juin	3	41 22 O	93	81	+ 17,2	calotte S = + 28
1924	6	2	40 50 O	50	81	+ 22,1	calotte S = + 26
	8 juillet	3	32 51 O	121	81	+ 7,7	calotte S = + 15,6 Sirenum = + 11 N = + 6
	15	22	29 11 O	334	17	+ 5,2	calotte S = + 2,7 L = + 4,7 N = + 2,7
	19	23	27 1 O	312	17	0	calotte S > C L > C T < C
	26	23	23 36 O	241	17	- 2,7	calotte S = - 2,7 Hellas blanc = 0
	30	23	20 23 O	212	17	- 6,8	Maria Sirenum, Cimmerium = - 8,4
	8 août	23	13 34 O	131	17	- 12,4	Hémisphère N = - 11,7 L : B = - 7
	18	22	6 28 O	28	17	- 8,8	S < C N < C
	20	22	5 38 O	10	17	- 6,4	T > C L : B < C
	22	23	4 58 O	7	17	- 5,7	
	23 septembre	21	24 53 E	52	81	+ 0,6	S : B < C N > C T > C
	27 octobre	21	38 20 E	95	17	+ 17,9	S > C N > C T > L
	6 décembre	19	42 25 E	40	81	+ 25,7	
	8	18	42 29 E	5	81	+ 20,5	T = L = C Margaritifer sinus = + 20,5
							Hellespontus = + 21,7 Noachis = 19
							Thymiaata = 17,4 Aeria, Edom = 19
							N fortement polarisé sur 0°,5

Date et Heure			RÉGIONS DIVERSES		
		V	2c	O	C
1924	19 décembre	18 ^h			
		42°21'E	263°	81	+ 9,6
	22	42 14 E	222	81	+ 8,2
	23	42 12 E	206	81	+ 11
	26	42 3 E	204	17	+ 12,2
	29	41 55 E	161	81	+ 11
	31	41 48 E	144	81	+ 11,8
1925	5 janvier	41 28 E	97	13	+ 12,6
	10	41 37 E	157	13	+ 12,4
	18	40 38 E	338	81	+ 14,5
	22	40 4 E	302	81	+ 13,9
	23	39 58 E	278	13	+ 13
11 février	17	37 52 E	106	13	+ 15,3
	17	37 1 E	73	81	+ 17,5
	18	33 37 E	215	81	+ 14,2
1926	20 juin	46 43 O	59	81	+ 18
	2 août	46 30 O	10	81	+ 20,5
	6	46 9 O	332	81	+ 20,9
	14 septembre	37 0 O	321	81	+ 12,5
	29	29 6 O	130	81	+ 4,8
13 octobre	22	19 10 O	349	81	- 7,7
1 novembre	21	2 26 O	167	81	- 1,9

N sur 2" = + 15 ; sur 1" : B très polarisée

Mars embrumé, surtout au Nord

T = + 11 L = + 9

S sur 1",5 = - 27 : bords < C

N sur 1" = - 4 ; 1" à 3",5 = + 4,4

S sur 2",5 = + 18,4 N sur 2",5 = + 9,6

bords SSO = + 15,1 T et L < C

S > C N < C Mers toujours très pâles

S = + 16 N sur 0",8 = + 13 T = + 8 L = + 11

S sur 0",7 = + 16 N : B = + 16

S : B sur 1" = 0 N : B sur 1" = 25

S : B sur 1" = 0 T = + 19 L = + 2

N sur 1" = + 12 Mers moins pâles

Syrtis major = + 14,3 Hellas = + 15,8

S = - 16 N : B sur 1" = + 22 T = + 10 L : B = + 5

Hellas et Noachis jaunes = + 11,8

S : B = + 4 N : B = + 29 T = + 21 L = + 5

T = + 20 L = + 10

L au SO : B = + 4

N = + 15,5 T > L

calotte S = + 20 L = + 15

calotte S = + 22 N = + 18 S = + 17,2

calotte S = + 16 N = + 19 légers voiles

Syrtis major et Mare Hadryacum = + 17,6

L = + 29 Hellas = + 9 Aeria-Edom = + 10

N : B = + 16 T = + 6 Mare Sirenum = + 7

S sur 1" B = + 7,9 Pol. augmente au N.

N : B = + 0,5

Date et Heure		V	λ_e	O	C	RÉGIONS DIVERSES
1926	4 novembre	0 ^h	193	81	—	0, 5
	4	19	111	81	—	1, 2
	14	20	38	81	—	9
	15	21	43	81	—	9, 3
	6 décembre	19	185	81	+	2

N : B = — 4 T = — 18, 8
 T sur 0'', 7 = — 22, 6
 NNE : B = + 13 Mare Chronium = + 29
 Mare Cimmerium = + 12, 6

V : angle de vision.

λ_e : longitude du centre de Mars.

O : ouverture libre de l'instrument (voir tableau V).

C : régions voisines du centre de Mars.

N et S : régions voisines des pôles nord et sud.

L et T : régions voisines du limbe et du terminateur vers l'équateur.

B : blancs.

Les chiffres qui figurent dans les colonnes C et « observations diverses » représentent la proportion de lumière polarisée en valeur algébrique.

tandis que sur les terres telles que Hellas, Aeria et Edom, le polarimètre n'accusait que 10 millièmes.

Des polarisations fortes ont été trouvées, à plusieurs reprises, sur la mer des Sirènes. Le 8 juillet 1924, sous un angle de $32^{\circ}51'$, sa polarisation était de 13 millièmes, supérieure de 4 millièmes à la moyenne des régions centrales. Le 29 juin 1926, elle était de 6,7 millièmes, supérieure de 2 millièmes à la moyenne.

Rappelons, à titre de comparaison, que sur la Lune, pour l'angle de 42° , la différence des mers et des terres est, en moyenne, de 21 millièmes et qu'elle s'élève, entre les terres, jusqu'à 5 millièmes. D'ailleurs, sur Mars, les différences d'albédo sont beaucoup moins marquées que sur la Lune.

Calotte polaire australe. — Il est difficile d'étudier la polarisation des calottes polaires de Mars : lorsqu'elles présentent leur plus grand développement, nous les voyons très obliquement, tandis qu'aux époques où le pôle observé s'incline fortement vers la Terre, l'été martien est proche et la tache blanche a déjà perdu beaucoup de son étendue.

J'ai obtenu cependant quelques résultats certains sur la calotte australe, principalement en juillet 1922 et d'avril à juillet 1924, pendant le printemps de l'hémisphère austral. Sa polarisation s'est montrée très variable ; parfois, elle semblait la même que sur le reste de la planète, parfois, au contraire, elle était beaucoup plus forte. En 1922, elle était de 30 millièmes pour les angles de vision de 29° et 32° ; en 1924, elle parut atteindre 68 millièmes vers la quadrature, tandis qu'en 1926, elle est restée voisine de celle du centre.

La calotte boréale semble subir des variations analogues, d'après les mesures de 1922.

Terminalcur et limbe. — Les bords de la planète, à l'Est et à l'Ouest, ont donné des résultats aussi irréguliers que les calottes polaires. Le terminateur et le limbe se sont montrés tantôt plus, tantôt moins polarisés que le centre, avec des écarts souvent inverses.

La différence entre le terminateur et le centre variait de -13 à $+10$ millièmes. Pour le limbe, elle était comprise entre -10 et $+16$ millièmes.

Ces changements ne sont pas dus à la rotation de Mars, car j'ai observé des différences de sens contraire pour les mêmes longitudes du centre. Ils ne sont pas liés non plus aux variations de l'angle de vision. Je chercherai plus loin à les expliquer.

Nébulosités diverses. — En 1922 et jusqu'en septembre 1924, les seules formations nuageuses observées ont été des blancheurs, visibles seulement près des bords, soit parce que l'obliquité des rayons en ces points les rend plus opaques,

soit parce que la chaleur solaire atténuée leur permet alors seulement de prendre naissance.

Celles qui apparaissent aux faibles latitudes étaient, en général, pâles et diffuses et possédaient une polarisation inférieure à celle du centre.

Celles qui se formaient aux latitudes élevées se montraient étroites et brillantes et possédaient quelquefois, au bord extrême, sur une largeur inférieure à une demi-seconde, des polarisations tantôt très supérieures à celle du centre, tantôt très inférieures.

Entre le 8 et le 19 décembre 1924, comme nous l'avons dit précédemment, la planète s'est recouverte entièrement de voiles jaunâtres. Ceux-ci étaient complètement opaques dans l'hémisphère Nord et s'éclaircissaient vers le Sud.

La polarisation était loin d'être uniforme. En particulier, le 22 décembre, elle atteignait 27 millièmes au pôle austral, tandis qu'au pôle boréal elle était inverse et d'environ 4 millièmes. Cette inégalité s'atténua les jours suivants et la polarisation devint nulle sur des blancheurs recouvrant le pôle austral, s'élevant à 25 millièmes sur une blancheur visible près du pôle boréal.

Le 18 janvier, le temps s'était beaucoup éclairci sur Mars et la polarisation était bien plus uniforme. Des formations blanches continuaient cependant à apparaître près des bords accusant :

Le 23 janvier, 4 millièmes au pôle austral et 29 millièmes au pôle boréal ;

Le 17 février, + 4 millièmes au limbe, dans l'hémisphère Sud.

Ces observations montrent que les blancheurs ont une constitution différente des voiles jaunâtres ; elles doivent flotter dans l'atmosphère de Mars à un niveau plus élevé, puisqu'elles sont restées visibles pendant la grande perturbation atmosphérique.

POLARISATION PAR DIFFUSION OBLIQUE

En 1926, j'ai cherché à reconnaître si certains points de la surface de Mars, lorsque la rotation les amène près du bord, ne présentent pas des phénomènes de polarisation dus à l'obliquité des rayons diffusés vers la Terre.

La polarisation ordinaire par diffusion doit se superposer à ces phénomènes, sauf au moment de l'opposition, et gêner leur observation. J'ai pu, cependant, les étudier en tout temps en orientant le polarimètre à 45 degrés de la direction du Soleil, ce qui le rend insensible à la polarisation par simple diffusion. On peut ainsi étudier les points du bord situés grossièrement à 45° de cette direction.

Voici quelques résultats obtenus de cette façon :

Le 1^{er} novembre, à 21 heures : une région assez blanche apparaît au bord Sud suivant, à peu près sur l'île Thyle 2. Sa polarisation est parallèle au bord, moyenne 7 millièmes, les rayons diffusés forment, en moyenne, avec la surface, un angle

d'une vingtaine de degrés. Aucune polarisation sensible sur les trois autres quadrants.

Le 14 novembre : plage blanche sur Aonius sinus au bord Sud suivant. Polarisation tangente au bord, moyenne 5 millièmes, l'angle moyen des rayons diffusés est d'une vingtaine de degrés. A l'opposé, légère polarisation tangente au bord.

Le 15 novembre, à 21 heures : plage blanche sur Aonius sinus au bord Sud suivant. Polarisation parallèle au bord, moyenne 6,5 millièmes sous un angle moyen de 17° .

Au bord Nord suivant, sur Arcadia, près du Ceraunius, polarisation parallèle au bord, moyenne 9 millièmes, angle moyen 13° .

Le 6 décembre, à 19 heures : angle de vision $24^{\circ}41'$. La polarisation est faible vers le centre. Les mers, vers Mare Chronium, ont une polarisation très forte Est-Ouest, croissant rapidement vers les bords : 29 millièmes pour un angle de 50° environ. Cette polarisation semble due, en partie, à la diffusion oblique de la lumière.

En résumé, j'ai observé une polarisation paraissant due à la diffusion de la lumière par des surfaces obliques, sur des plages blanchâtres apparues au bord levant, une fois sur l'île Thyle 2 et deux fois sur Aonius sinus. Il en a été de même sur Arcadia où, cependant, aucune plage blanche n'a été notée, sans doute à cause de la clarté des régions environnantes. Un phénomène analogue paraît s'être produit pour les plages sombres situées au Nord de Mare Chronium.

Je décrirai, au chapitre VI, quelques phénomènes constatés sur Terre et permettant d'expliquer ces observations.

Vénus.

Conditions d'observation. — Parcourant une orbite intérieure à celle de la Terre, la planète Vénus suit des phases très variées et son angle de vision prend toutes les valeurs comprises entre 0 et 180° . D'autre part, elle se prête bien mieux que Mercure aux mesures de polarisation, parce qu'elle est plus loin du Soleil et qu'elle possède un albédo beaucoup plus élevé.

Ses elongations maxima étant de 46° environ, elle peut être étudiée la nuit, dans de bonnes conditions, pendant une grande partie de ses phases. La période utilisable s'étend de 24° à 156° degrés, si l'on a soin d'effectuer les observations, comme pour Mercure, le soir, vers l'équinoxe de printemps, ou le matin, vers l'équinoxe d'automne.

Vénus a toujours, par beau temps, une brillance supérieure à celle du ciel. Sa proportion de lumière polarisée peut donc être mesurée en tout temps, le jour, avec une erreur inférieure à 3 millièmes, suivant la formule donnée page 29.

Près de sa conjonction supérieure, son diamètre apparent ne descend pas au-dessous de $12''$, ce qui permet d'employer des instruments assez petits pour qu'il soit facile d'abriter entièrement l'objectif des rayons solaires.

Près de sa conjonction inférieure, les difficultés apportées par l'amincissement du croissant sont, en partie, compensées par une augmentation considérable de sa brillance, à l'inverse de ce qui a lieu pour la Lune et pour Mercure.

Ces conditions, très favorables, permettent de déterminer la courbe de polarisation de Vénus plus complètement que celle de la Lune et des autres planètes.

L'examen séparé des diverses régions est aussi beaucoup plus facile pour Vénus que pour Mercure, grâce à son plus grand diamètre apparent qui atteint $21''$ au moment de la plus grande élongation et à la possibilité de l'observer la nuit, plus loin de l'horizon, les images étant ainsi moins bouillonnantes.

OBSERVATIONS EFFECTUÉES

J'ai effectué cent onze observations de Vénus, entre le 13 mai 1922 et le 6 juillet 1924, période pendant laquelle cette planète a accompli deux fois et demie la série de ses phases.

Aux environs de la plus grande élongation, les mesures étaient faites presque toujours la nuit, de préférence avec la grande lunette de Meudon. Au contraire, lorsque Vénus était proche du Soleil, j'observais le jour, avec la lunette de 175 millimètres munie de l'appareil destiné à compenser la polarisation atmosphérique (décrit page 27).

Les premières mesures ont été faites assez irrégulièrement, excepté quelques observations rapprochées effectuées en août 1922, pour tenter de déceler des variations rapides de la polarisation.

D'avril à septembre 1923, j'ai étudié la planète d'une manière plus suivie, surtout en août. Un ciel, très bleu pendant toute la fin de cette période, m'a permis de poursuivre les observations près de la conjonction supérieure.

Le 9 septembre, Vénus n'était plus qu'à $1^{\circ}20'$ du Soleil ; les mesures ont été faites avec le chercheur de 160 millimètres de la grande lunette, dont l'objectif était à l'ombre d'un écran fixé à l'extrémité du tube de 16 mètres.

Le 31 mars 1924, j'ai commencé une nouvelle série d'observations régulières, le soir, avec la grande lunette ; l'angle de vision croissait et atteignait alors $76^{\circ}48'$. Elles ont été favorisées par la fréquence de belles soirées. Les images étaient assez calmes pour permettre d'étudier séparément les différents points du croissant, en particulier le terminateur, le limbe et les cornes.

Le 16 juin, l'angle de vision ayant atteint $148^{\circ}46'$, il fallut renoncer aux observations nocturnes. J'ai pu, cependant, continuer cette étude régionale, le jour, grâce à un très beau temps, avec la lunette de 175 millimètres et poursuivre les

mesures jusqu'à la conjonction inférieure où Vénus n'était plus qu'à $30^{\circ} 1/2$ du Soleil.

LUMIÈRE GÉNÉRALE

Plan de polarisation. — Le plan de polarisation moyen de Vénus a toujours été trouvé tantôt parallèle, tantôt normal au plan passant par le Soleil, avec une approximation égale à celle des mesures.

TABEAU VII

Vénus — Proportion générale de lumière polarisée.

Date et Heure	V	O	M	E	P	OBSERVATIONS
1922 13 mai 20 ^h 20 ^m	33°54' E	81	3	0,8	— 11,6	
15 20 20	34 42 E	81	2	1,4	— 13,3	
20 20 20	36 47 E	81	2	0,1	— 15,4	
23 20 10	38 0 E	81	1	...	— 13,6	
26 20 15	39 34 E	81	1	...	— 15,9	
29 19 55	40 28 E	81	3	0,6	— 13,1	
20 juin 20 30	49 50 E	81	5	0,7	— 12,4	
23 20 30	51 9 E	81	4	0,5	— 13,7	
29 20 30	53 45 E	81	4	0,7	— 12,2	
17 juillet 16	61 27 E	13	1	...	— 8,6	appareil mal réglé
28 20 20	66 35 E	17	6	0,3	— 14,3	
30 20 30	67 19 E	17	3	0,3	— 13,7	
1 ^{er} août 20 5	68 24 E	17	4	0,2	— 19,2	
2 20	68 51 E	17	3	0,3	— 16,2	
4 20 15	69 47 E	17	1	...	— 19,6	
8 20 05	71 36 E	17	3	0,5	— 23,8	vent violent
9 19 55	72 07 E	17	3	...	— 21,4	
10 20	72 33 E	17	4	0,3	— 17,9	
11 21	73 4 E	17	4	0,4	— 19,8	
12 19 45	73 31 E	17	6	1,0	— 22,5	
15 19 45	74 58 E	17	3	0,2	— 21,4	
16 19 45	75 25 E	17	3	0,5	— 21,2	
18 20 45	76 24 E	17	3	0,2	— 20,4	
20 20 40	77 22 E	17	2	0,1	— 22,2	
22 20 30	78 21 E	17	1	...	— 21	
14 septembre 21	90 56 E	60	3	4	— 29,4	
18 18 35	93 24 E	60	3	1,1	— 26,4	
29 18 20	100 30 E	60	2	0,6	— 31,1	
12 octobre 17 50	111 6 E	81	2	1,8	— 29,7	
7 décembre 7 35	154 21 O	17	3	0,6	+ 13,6	
9 7 40	150 30 O	17	3	0,5	+ 11,9	
13 6 50	143 12 O	17	4	0,1	— 10,3	

	Date et Heure	V	O	M	E	P	OBSERVATIONS
1922	15 décembre 7 ^h 15 ^m	139°50' O	17	6	1,7	— 11,6	
	22	129 17 O	17	7	1,2	— 25	
1923	11 janvier 6 45	107 19 O	12	5	1,4	— 31,2	
	23	98 14 O	17	1	...	— 22,8	jour intense
	5 avril 7 20	61 30 O	12	2	0,7	— 15,8	
	9	59 51 O	12	1	...	— 17,5	
	10	59 39 O	12	1	...	— 17,5	
	11	59 3 O	11	5	0,5	— 15,2	{ compensation insuffisante
	25	53 31 O	12	3	0,3	— 16,1	
	2 mai 10	50 48 O	12	1	...	14,2	
	16	45 24 O	12	3	0,7	— 15	
	25	42 45 O	12	2	1,4	— 15,1	
	19 juin 10	32 17 O	17	3	0,3	— 12,6	
	5 juillet 10	26 1 O	13	4	0,5	— 2,4	
	12	23 19 O	13	2	...	+ 0,5	
	19	20 35 O	15	3	1,4	+ 8,4	
	21	19 47 O	17	2	0,6	+ 9,8	
	26	17 51 O	17	5	0,6	+ 13,9	
	1 ^{er} août 10	15 30 O	13	3	1,4	+ 15	
	3	14 43 O	15	3	0,6	+ 15,2	
	5	13 56 O	15	2	0,5	+ 15,6	
	8	12 46 O	17	4	1,6	+ 13,7	
	11	11 32 O	17	2	0,6	+ 14,7	
	14	10 16 O	17	3	0,5	+ 9	
	16	9 44 O	17	3	1,1	+ 6,2	
	19	8 33 O	17	4	0,7	+ 2,7	
	20	8 12 O	16	6	0,2	+ 1	
	21	7 53 O	15	3	...	— 0,3	
	22	7 32 O	15	4	...	— 0,3	
	23	7 9 O	15	3	0,3	— 2,2	
	25	6 24 O	15	4	0,3	— 1,1	
	26	5 53 O	13	7	0,4	— 1,5	
	27	5 30 O	15	3	0,2	— 1,8	
	28	5 18 O	12	3	0,3	— 1,9	
	29	4 56 O	11	4	0,5	— 1,1	
	9 septembre 14 30	1 58	16	8	...	+ 0,7	
	27	6 46 E	13	5	0,5	— 1,2	
	30	7 7 E	13	3	0,1	+ 0,6	
1924	7 janvier 14 30	41 21 E	13	3	0,9	— 13,2	
	12	43 5 E	15	3	0,4	— 12,7	
	24	47 26 E	12	4	0,9	— 14,1	
	2 février 12	50 50 E	12	3	0,9	— 17,7	
	14	55 35 E	12	9	2,3	— 19	{ Mesures difficiles, nuages.

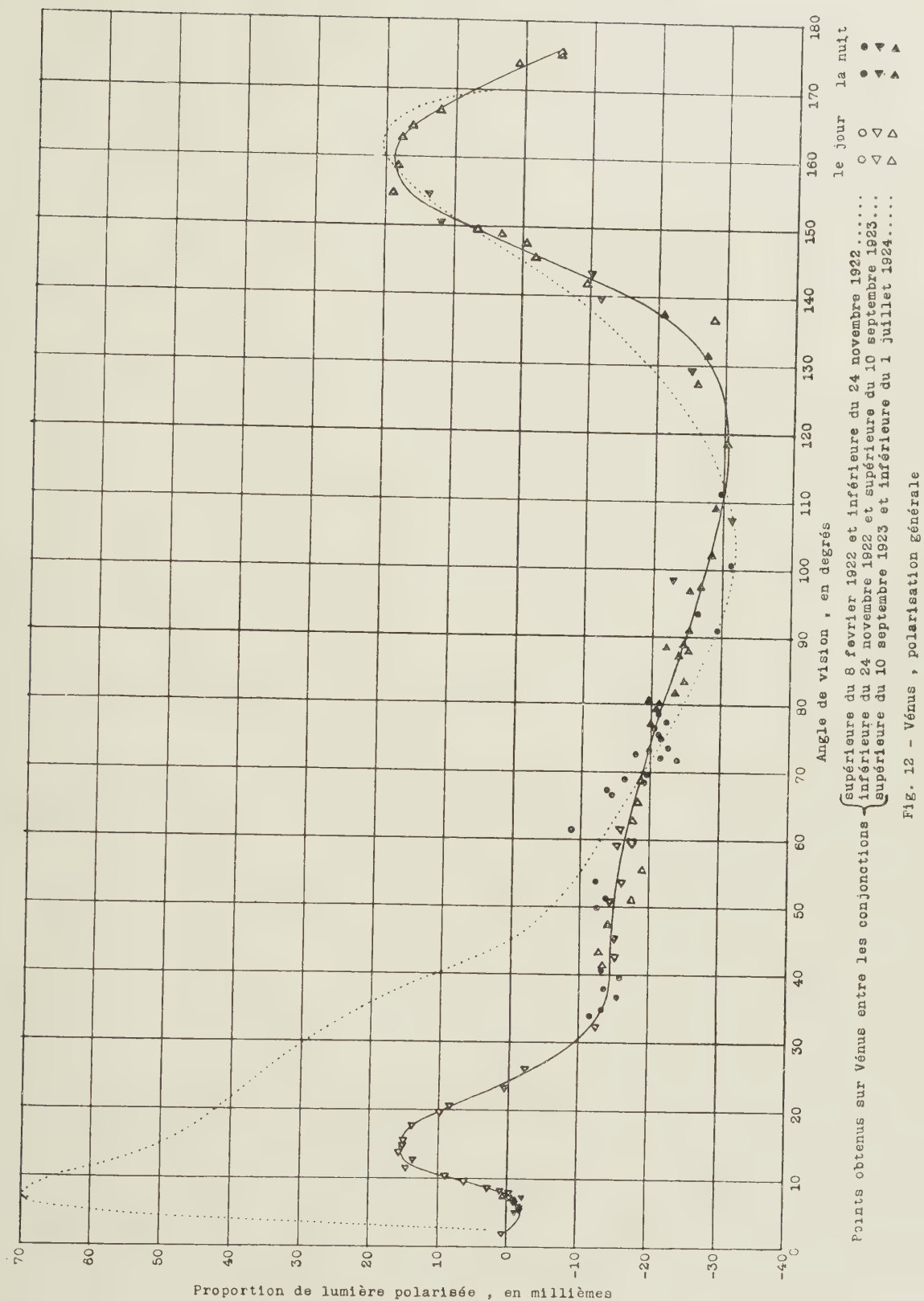
	Date et Heure		V	O	M	E	P	OBSERVATIONS
1924	2 mars	10 ^h	62°40'E	12	6	0,4	—	17,4
	8	12	65 22 E	12	5	0,8	—	18,1
	15	12	68 39 E	12	4	1,9	—	18,8
	31	20	76 48 E	81	3	0,4	—	20,1
	5 avril	19 30	79 29 E	81	4	0,3	—	20,7
	6	20 30	80 3 E	81	4	0,4	—	21,1
	7	20	80 35 E	81	5	0,5	—	19,6
	9	20	81 46 E	81	2	0	—	23,4
	12	20	83 29 E	81	4	0,6	—	24,5
	18	20	87 7 E	81	2	0,4	—	23,8
	19	20 10	87 55 E	81	2	0,1	—	25,2
	20	20	88 22 E	81	1	...	—	21,9
	21	20	88 59 E	81	1	...	—	24,5
	24	20	90 58 E	81	1	...	—	25,3
	3 mai	21	96 51 E	81	3	0,6	—	25,3
	5	20	97 20 E	81	3	0,5	—	26,8
	9	21	102 5 E	81	3	0,7	—	28,5
	17	21	109 9 E	16	4	0,6	—	28,9
	26	21	118 29 E	81	2	0	—	30,3
	2 juin	21	127 16 E	81	3	0,3	—	25,9
	5	20 30	131 20 E	81	3	0,4	—	27,2
	7	12	136 49 E	17	2	0,2	—	28,2
	9	20 30	137 23 E	81	5	1	—	20,7
	12	12	141 45 E	17	9	1,4	—	9,5
	14	14	145 26 E	17	2	0,7	—	2
	15	20 30	147 40 E	81	6	0,8	—	0,5
	16	11	148 46 E	17	6	1,5	+	3
	16	20 40	149 30 E	81	7	1,2	+	6,5
	19	11	154 29 E	13	7	2,1	+	19
	21	10 30	158 25 E	17	2	0,1	+	18,2
	23	13	162 40 E	17	7	3	+	17,8
	24	12	164 35 E	13	8	0,9	+	16,1
	25	14	166 42 E	17	6	1,4	+	12,1
	29	11	173 44 E	13	7	0,5	+	1
	30	12	175 E	13	4	1,1	—	5,2
	1 ^{er} juillet	12	175 18	13	4	1,7	—	5,2

Les abréviations sont les mêmes que pour le tableau V.

Les mesures du 9 septembre 1923 ont été prises avec le chercheur de 160 millimètres de la grande lunette.

Celles du 17 mai 1924 ont été prises avec le chercheur de 160 millimètres du télescope de 1 mètre de Meudon.

Proportion de lumière polarisée. — Les chiffres obtenus pour la proportion de lumière polarisée générale de Vénus ont été portés sur le tableau VII. La courbe



en trait plein de la figure 12 représente les variations de la proportion de lumière polarisée, en fonction de l'angle de vision. Cet angle est passé par toute la série des valeurs comprises entre 2° et 176° environ, au cours de chaque période limitée par deux conjonctions successives. Les observations portent sur trois de ces périodes et les polarisations, trouvées au cours de chacune d'elles, sont représentées par des points ayant des formes différentes et dont les centres sont blancs ou noirs, suivant que les mesures correspondantes ont été faites le jour ou la nuit.

Ces six sortes de points sont mêlés en plusieurs endroits et, à part quelques irrégularités accidentelles, ils s'écartent peu d'une même courbe, malgré la diversité des instruments et des méthodes avec lesquels ils ont été obtenus.

Ce fait, très remarquable, montre, que la surface apparente de Vénus ne s'est pas modifiée au cours de mes observations et permet de supposer que son atmosphère ne subit pas, comme celle de Mars, de fréquentes perturbations.

La courbe de polarisation de Vénus est très curieuse et ne ressemble aucunement à celles de la Lune, de Mercure et de Mars. La proportion de lumière polarisée change quatre fois de signe pour les angles de vision suivants : 7, 24, 147 et 173 degrés :

Elle est positive entre 7 et 24 degrés ;

Elle est négative entre 24 et 147 degrés.

Donc, lorsque Vénus et la Lune présentent les mêmes phases, leurs lumières sont presque toujours polarisées dans des plans perpendiculaires.

ETUDE RÉGIONALE

Pleine phase. — J'ai commencé à étudier séparément les diverses régions de Vénus le 1^{er} août 1923 ; les chiffres obtenus figurent sur le tableau VIII. A cette date, l'angle de vision était de $15^{\circ}30'$. La planète, approchant de sa conjonction supérieure, présentait, dans la lunette de 175 millimètres, l'aspect d'un disque uniformément lumineux sans aucun détail, bien que les images fussent souvent très bonnes.

Malgré cela, la polarisation n'était pas, en général, tout à fait uniforme, et ses inégalités se modifiaient en l'espace de quelques jours. Ces changements sont peut-être dus à un mouvement de rotation de la planète, mais les observations ne suffisent pas à le montrer.

Au moment de l'inversion du 21 août 1923, la polarisation était nulle sur tout le disque, ainsi que le 9 septembre, tout près de la conjonction supérieure. Mais, à cette dernière date, l'éclat du ciel, dans la direction de Vénus, rendait les mesures moins précises.

J'ai repris les mesures régionales à la tombée de la nuit, au moyen de la grande lunette, le 5 avril 1924.

TABLEAU VIII

Vénus : Etude régionale.

Date et Heure			Proportion de lumière polarisée.				Plan de polarisation.			OBSERVATIONS
		V	X	O	Centre	Limbe	Terminateur	Corne Nord	Corne Sud	
1922	20 juin 21 ^h	49°50' E	....	81	- 12,5	- 12,9	- 17	.....	.....	.....
	11 août 21	73 4 E	....	17	- 20,6	.....	<	.....	.....	.....
1923	1 août 10	15 30 O	....	13	+ 15,5	.....	<	.....	.....	.....
	5 11	13 56 O	....	15	+ 17,2	<	<	.....	.....	.....
	11 14	11 32 O	....	17	+ 15,9	>	>	.....	.....	Images excellentes, ciel limpide.
	14 10	10 16 O	....	17	+ 9,6	>	<	.....	.....	.....
	19 15	8 33 O	....	17	+ 2,6	<	>	.....	.....	Ciel nuageux.
	21 10	7 53 O	....	15	0	0	0	.....	.....	.....
	25 10	6 24 O	....	15	- 1,6	<	>	N < C	S < C	Images agitées.
	26 10	5 50 O	....	13	- 1,7	<	>	.....	.....	.....
	9 sept. 14	1 58	....	16*	+ 0,7	=	=	N = C	S = C	Ciel limpide par moments.
1924	5 avril 20	79 29 E	....	81	- 20,7	-	=	N = C	S + C	.....
	20 20	88 22 E	....	81	- 21,9	.....	.....	- 35,2	- 29	.....
	21 20	88 59 E	....	81	- 26,5	.....	.....	31	.....	.....
	24 20	90 58 E	82° 1	81	- 25,3	.....	.....	.....	.....	.....
	3 mai 21	96 51 E	....	81	- 25,3	.....	.....	33	33	.....
	5 20	97 20 E	86° 1	81	- 26,8	.....	.....	.....	.....	.....
	9 21	102 5 E	....	81	- 28,5	.....	.....	.....	.....	.....
	26 21	118 29 E	93°	81	- 30,3	.....	.....	30,2	39,2	.....
	5 juin 21	131 20 E	94° 1	81	- 27,2	28	- 42	33,2	43,3	.....
	9 21	137 23 E	95° 1	81	- 20,9	25,1	31,3	27,8	28,3	Images très calmes.
	15 21	145 26 E	....	81	- 0,5	.....	.....	- 17,8	- 18	Images calmes.
	23 14	162 40 E	....	17	- 16,4	.....	10	+ 0,5	.....	.....
	24 juin 12	164 35 E	....	13	- 18,2	.....	.....	.....	.....	Ciel limpide, croissant sinueux.

V : angle de vision.

X : angle de position du plan de vision.

O : ouverture libre de l'instrument (voir tableau V).

Les mesures relatives aux cornes sont faites à une distance des pointes égale au $1/4$ du diamètre pour la proportion de lumière polarisée, et à $1/7$ du diamètre pour le plan de polarisation. Vers la pleine phase, les mesures correspondantes se rapportent aux régions voisines du bord nord et du bord sud.

Les mesures du 9 septembre 1924 sont faites avec le chercheur de 160 millimètres de la grande lunette.

Les signes $>$ et $<$ signifient que la proportion de lumière polarisée est plus grande ou plus petite que celle du centre, en valeur algébrique.

A cette date, l'angle de vision était de $79^{\circ}29'$ et la polarisation se montrait très uniforme sur toute la planète.

Cornes, plan de polarisation. — Le 21 avril, sous un angle de 89 degrés, les choses avaient changé. Le plan de polarisation qui, dans toute la partie la plus large du croissant, était normal au plan passant par le Soleil, c'est-à-dire parallèle à la ligne des cornes, tournait, vers les pointes, en sens inverse du rayon de la planète. La déviation paraissait maximum à une distance des extrémités un peu inférieure au quart du rayon de Vénus, un peu plus près du limbe que du terminateur. Elle garda une valeur sensiblement constante, de 5° environ, jusqu'au 9 juin ($V = 137^{\circ}23'$). A partir de cette date, la faiblesse de la polarisation, puis la lumière du jour m'empêchèrent de continuer les mesures d'azimut.

Rien de semblable n'a lieu pour la Lune dont le plan de polarisation est constant, à moins d'un demi-degré près.

Cornes, proportion de lumière polarisée. — Cette déviation dans les cornes s'accompagna d'altérations de la proportion de lumière polarisée.

Le 20 avril, la polarisation était devenue beaucoup plus négative dans les cornes qu'au centre ; il en fut de même jusqu'au 5 juin. Elle diminuait en valeur algébrique, régulièrement, à partir d'une distance du centre égale, environ, au quart du rayon de Vénus, pour atteindre son minimum près des pointes.

Cette différence, mesurée à un demi-rayon des pointes, n'était généralement pas la même au Nord et au Sud et paraissait osciller irrégulièrement entre — 2 et — 8 millièmes ; à la pointe nord, elle atteignit — 13 millièmes. Le 5 juin, les cornes étaient presque égales au centre ; le 9 juin, la différence avait changé de signe.

Limbe et terminateur. — Pendant cette période, la polarisation s'est montrée moins forte, en valeur algébrique, au terminateur qu'au limbe.

Elle variait lentement, près du limbe ; au terminateur, la chute s'accroissait et devenait quelquefois assez considérable. Le 26 mai, notamment, la différence des deux bords du croissant atteignit 14 millièmes.

La polarisation s'inversa d'abord au limbe, un peu avant le 15 juin, puis au terminateur, assez longtemps après ; si bien que, pendant plusieurs jours, les deux bords du croissant furent polarisés en sens inverse.

Le 23 juin, en particulier, ce fait s'est manifesté d'une manière très curieuse : le polariscope était orienté de telle façon que les franges traversaient normalement le milieu du croissant et la polarisation atmosphérique était annulée, au moyen de la pile de glaces. En plaçant les deux lames du polarimètre normalement à l'axe de la lunette, j'ai vu les franges disparaître et le croissant devenir

sinueux. Sa largeur n'excédait pas alors $1'',5$ et son aspect était celui de la figure 13.

Ce phénomène était dû à la présence de deux systèmes de franges complémentaires qui renforçaient alternativement le limbe et le terminateur. Cet aspect

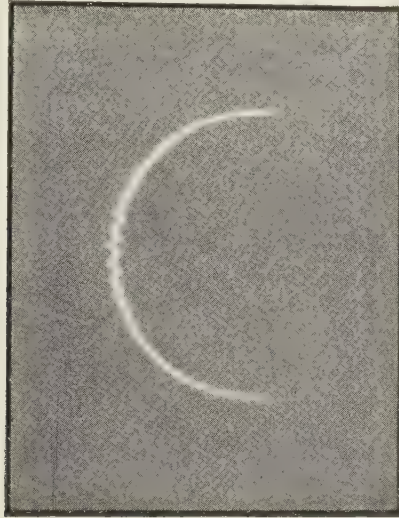


Fig. 13.

Apparence présentée par Vénus, à travers le polarimètre, les 23 et 24 juin 1924.

persista le lendemain, puis disparut, sans doute parce que la largeur du croissant devenait inférieure au pouvoir séparateur de la lunette.

Malgré sa finesse qui augmenta vraisemblablement encore beaucoup jusqu'à la conjonction inférieure, le croissant resta bien visible, dans un ciel très lumineux. Sa brillance devait donc aller en augmentant, à l'inverse de ce qui se produit pour la Lune.

Jupiter.

Conditions d'observation. — En raison de sa grande distance au Soleil, Jupiter nous apparaît toujours éclairé à peu près de face. On sait, d'ailleurs, que ses phases se bornent à une ombre obscurcissant légèrement soit l'un, soit l'autre de ses bords.

L'angle de vision atteint son maximum aux quadratures où il ne dépasse jamais $11^{\circ}52'$; aux oppositions, il descend toujours au-dessous de $0^{\circ}17'$, grâce à la faible inclinaison de l'orbite. Nous pouvons donc connaître seulement une très courte portion de la courbe de polarisation, décrite deux fois en sens inverse, de la quadrature Ouest à la quadrature Est.

Jupiter tourne autour d'un axe presque normal au plan de l'écliptique, aussi voyons-nous ses pôles toujours très obliquement ; en revanche, les observations sont facilitées par son diamètre apparent toujours très élevé ($37''$ aux quadratures) et par son grand éclat qui équivaut à celui de Mars aux oppositions périhéliques. Une lunette de 175 millimètres d'ouverture suffit pour étudier séparément ses principaux détails.

J'ai commencé les mesures en 1922 ; depuis cette époque, la déclinaison de Jupiter est restée très australe ; sa hauteur maximum au-dessus de l'horizon de Meudon était de 37° à l'opposition de 1922, elle s'est abaissée à 19° en 1924 et en 1925, pour atteindre à nouveau 26° en 1926.

Le pôle austral de Jupiter est resté légèrement incliné vers la Terre pendant la série des observations ; la latitude du centre, maximum au début, varia ensuite de -3° à 0° .

RÉGIONS CENTRALES

Les premières mesures ont montré, vers le centre de Jupiter, une polarisation très uniforme qui paraissait varier régulièrement, comme celle des planètes déjà étudiées, avec la direction des rayons incidents. Vers les pôles, au contraire, la polarisation semblait obéir à des lois très différentes. C'est pourquoi, au lieu d'effectuer des mesures sur la lumière générale de Jupiter, j'ai préféré étudier la polarisation moyenne d'une plage occupant le centre de son disque et couvrant environ la moitié du diamètre polaire.

En 1922, j'ai commencé les mesures le 15 mai, longtemps après l'opposition ; l'angle de vision était déjà de $7^\circ 30'$. Elles ont donné, pour le centre, un plan de polarisation sensiblement normal au plan passant par le Soleil. Les proportions de lumière polarisée trouvées ont été portées sur le tableau IX. La polarisation négative, voisine de zéro au début, atteignit rapidement -6 millièmes, pour rester ensuite à peu près constante pendant le mois de juin.

En 1923, les mesures ont été plus fréquentes ; elles sont représentées par les points de la figure 15. La polarisation, positive et très faible au début, s'inversa, vingt-cinq jours environ après l'opposition, pour atteindre $-5,5$ millièmes à la quadrature.

En 1924, comme le montre la figure 16, la polarisation, négative au début, devint rigoureusement nulle à l'opposition, pendant une quinzaine de jours, pour descendre jusqu'à -6 millièmes, un peu avant la quadrature.

TABLEAU IX

Jupiter : Proportion de lumière polarisée des régions équatoriales.

Date et heure	V	O	Régions centre	Bande Nord	Zone équat.	Ban de Sud	Bord Ouest	Bord Est
1922 15 mai 22 ^h	7 ⁰ 30' E	81	-1,4	.....	.....	.....	.....	.....
1 ^{er} juin 22	9 28 E	81	-4,4	.....	.....	.....	.....	.....
11 21	10 8 E	17	-6,2	.....	.....	.....	.....	.....
18 21	10 30 E	17	-4	.....	.....	.....	.....	.....
23 23	10 35 E	81	-5,3	-4,8	-5,5	-5,5	.....	.....
28 juill. 21	9 55 E	17	-2,2	.....	.....	.....	.....	.....
10 août 21	9 7 E	17	-0,6	.....	.....	.....	.....	.....
1923 23 avril 20	2 26 O	16	+1,2	.....	.....	.....	.....	.....
1 ^{er} mai 22	0 53 O	16	+0,4	.....	+0,7	.....	.....	.....
14 21	1 49 E	17	+1	-0,6	+1,6	-0,6	.....	.....
30 21	4 52 E	17	-0,6	-0,5	-0,8	0	.....	.....
1 ^{er} juin 22	5 13 E	17	-0,5	+0,5	-0,8	+0,5	.....	.....
11 21	6 52 E	17	-1,5	-1,9	.....	-1,1	.....	.....
17 21	7 43 E	17	-2,0	-1,3	-2,0	.....	.....	.....
24 21	8 41 E	17	-2,7	-1,5	-2,5	-1,5	.....	.....
3 juill. 21	9 31 E	17	-3,5	-5,6	-2,2	-4	.....	.....
11 21	10 7 E	17	-5,1	-7,4	-3,5	-6,2	.....	.....
20 20	10 36 E	17	-4,4	.....	-4,4	.....	.....	.....
5 août 20	10 50 E	15	-5,4	.....	.....	.....	.....	.....
1924 4 mai 2	6 19 O	81	-1,3	-0,9	-1,2	-1,8	.....	.....
10 22	5 17 O	81	-1,3	.....	-1,3	.....	.....	.....
26 23	2 16 O	81	+0,2	0	0	+0,5	.....	.....
2 juin 23	0 39 O	81	0	.....	0	0	.....	.....
10 1	0 50 E	81	0	.....	0	.....	+1,6	+1,6
15 23	2 9 E	81	-1	-0,6	-1,2	.....	+2,8	.....
16 22	2 21 E	81	-0,8	.....	-0,8	.....	+2,3	+1,2
25 23	4 1 E	81	1	-1	-1	-0,6	+2,7	+1,1
7 juill. 23	6 1 E	81	-0,3	.....	-0,3	.....	+2,1	+0,8
15 22	7 25 E	17	-2,7	.....	.....	.....	+0,5	+0,5
19 21	7 59 E	17	-5	.....	.....	.....	-0,2	+0,5
26 21	8 44 E	17	-4,3	.....	.....	.....	< 0	< 0
30 23	9 16 E	17	-4,7	-3,8	-5,2	-4,8	< 0	< 0
6 août 21	9 58 E	17	-6	.....	.....	.....	-2	-4,2
1925 16 juin 1	4 46 O	81	-2	-2,2	-2,3	-1,2	+4,2	+2,5
30 23	2 0 O	81	+0,2	+0,5	0	0	+4,3	+2,5
8 août 21	5 53 E	13	-2	-2,5	-1,8	-2,5	+0,5	-0,3
1926 21 mai 2	11 30 O	81	-6,3	.....	-6,3	.....	-4,1	-4,9
20 juin 0	9 56 O	81	-5,6	.....	.....	.....	-2,0	-3,2
2 août 1	3 0 O	81	+0,5	.....	.....	.....	.....	.....
6 0	2 10 O	81	+1,8	.....	.....	.....	+2,5	+1,8
27 22	2 38 E	17	0	.....	.....	.....	0	+0,6

Date et heure	V	O	Régions centre	Bande Nord	Zone équat.	Bande Sud	Bord Ouest	Bord Est
1926 8 sept. 21 ^h	5° 3'E	81	-1,2	.....	.....	.....	+0,5	-1,1
13 22	6 1 E	81	-1,6	-1,2	-2,1	.....	+2,8	0
29 22	8 33 E	81	-3,8	.....	-4	-2,9	0	-1,6
1 nov. 21	11 16 E	81	-5,5	-7,7	-4,9	.....	-1,3	-2,8
6 déc. 18	10 30 E	81	-5,5	-6,7	-5,5	.....	0	-4,0

V : angle de vision.

O : ouverture libre de l'instrument en centimètres (voir tableau V).

La polarisation des bords Est et Ouest était mesurée à une distance du limbe de 0,06 diamètre équatorial.

Etendue de la polarisation des bords en fraction du diamètre polaire :

15 juin 1924 : Ouest 0,20.

9 juin 1925 : Ouest 0,10 ; Est 0,11.

30 juin 1925 : Ouest 0,21 ; Est 0,25.

13 sept. 1926 : Ouest et Est 0,25.

En 1925, les variations paraissent avoir été intermédiaires entre celles de 1923 et 1924, mais les mesures sont trop peu nombreuses pour permettre de constituer une courbe.

Les points de 1926 donnent la courbe 17, semblable à celle de 1924, mais moins incurvée.

Ces courbes ont été tracées sans tenir compte de la longitude du centre de Jupiter correspondant à chaque observation. Elles ne présentent pas d'irrégularités plus grandes que les erreurs probables des mesures. Par conséquent, dans la zone équatoriale de Jupiter, tous les points de sa surface apparente ont le même état physique. Cet état ne doit pas varier sensiblement entre deux observations, mais il se modifie lentement, d'une année sur l'autre, en même temps sur toutes les longitudes.

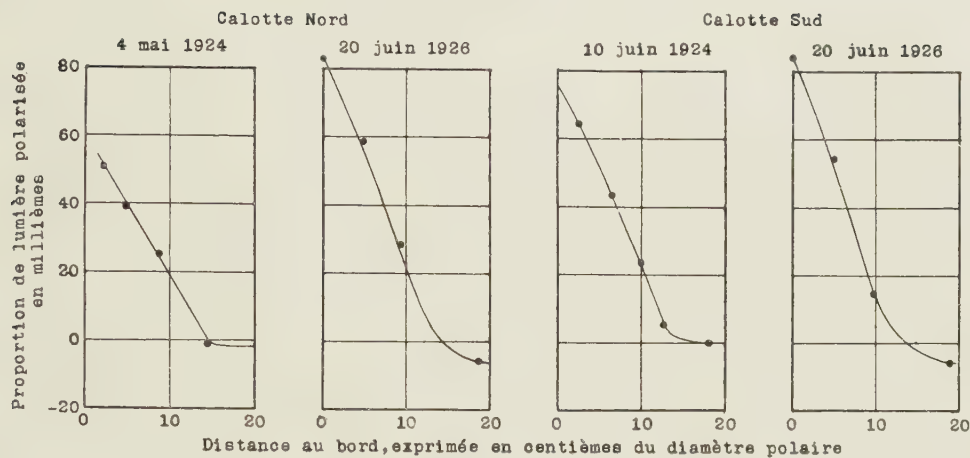
L'observation visuelle et la plaque photographique nous font connaître une propriété analogue. On sait, en effet, que la planète est entourée de bandes claires et sombres, parallèles à son équateur, qui se forment à peu près en même temps sur toute leur longueur et dont toutes les parties subissent, en général, dans leurs grandes lignes, des variations simultanées.

Les courbes de polarisation de Jupiter ne rappellent aucune de celles des autres planètes. Les ordonnées ont le même signe que pour la Lune, mais elles sont beaucoup plus faibles et la concavité est inverse.

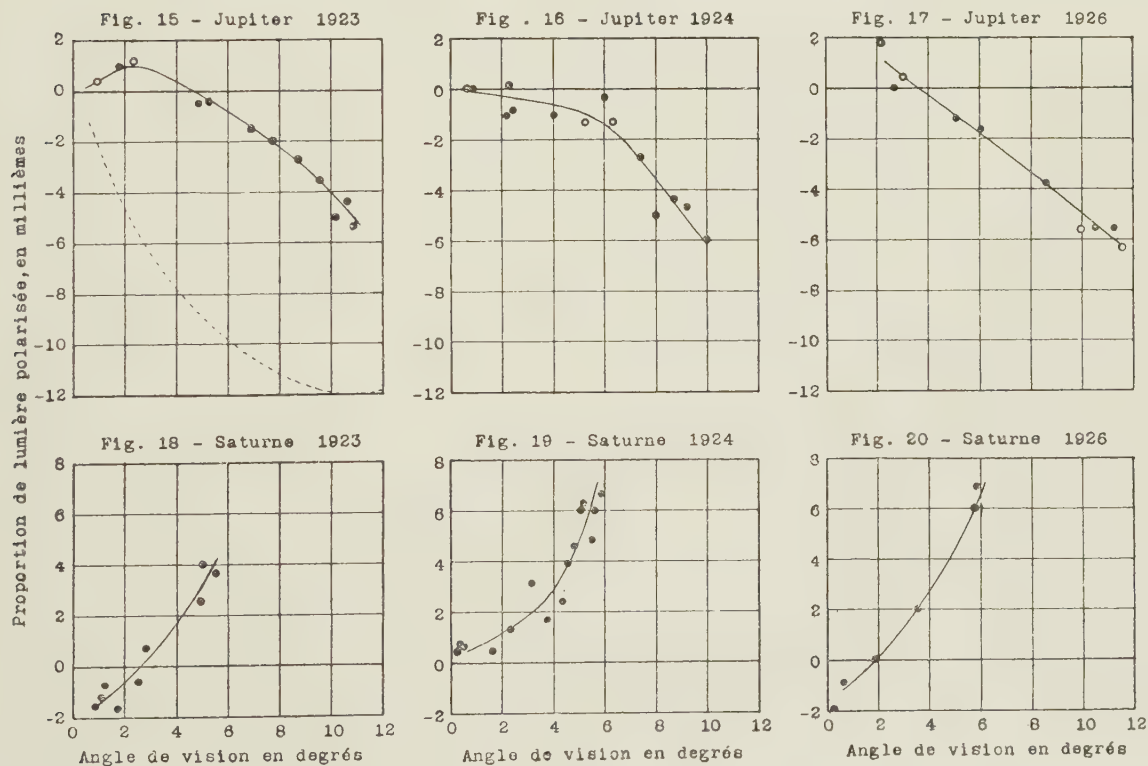
BANDES

J'ai comparé fréquemment, vers le méridien central, la polarisation des bandes claires et sombres, principalement la zone claire équatoriale, les deux fortes bandes sombres tropicales et les deux zones claires adjacentes.

Fig. 14 - Calottes polaires de Jupiter



Régions centrales des planètes Jupiter et Saturne - proportion de lumière polarisée



Comme le montre le tableau IX, leurs polarisations paraissaient souvent identiques : même lorsque l'aspect des franges semblait légèrement modifié sur l'une d'elles, les mesures accusaient des différences presque toujours inférieures aux erreurs d'observation.

Signalons cependant quelques exceptions :

Le 3 mai 1923, l'équateur avait une polarisation de $+ 1,6$ millièmes, supérieure de 2 millièmes à celle des zones adjacentes.

Le 24 mai 1923, la polarisation était de $- 2,5$ millièmes à l'équateur contre $- 0,5$ sur les bandes.

La différence la plus forte fut enregistrée le 11 juillet où j'ai trouvé $- 7,6$ sur la bande Nord, $- 6,2$ sur la bande Sud et $- 3,7$ sur la zone équatoriale.

BORDS EST ET OUEST

En 1924, j'ai mesuré régulièrement la polarisation des régions situées au bord de Jupiter, près de l'équateur.

Le plan de polarisation s'est montré là, comme au centre, tantôt parallèle, tantôt normal au plan passant par le Soleil.

La proportion de lumière polarisée y était, au contraire, toujours plus forte en valeur algébrique. Au centre, elle était, comme nous l'avons vu, très uniforme. A une distance des bords comprise, en général, entre 15 et 20 centièmes de diamètre, elle commençait à croître linéairement, pour atteindre son maximum au bord même.

Le tableau IX montre comment a varié la polarisation moyenne des deux bords, mesurée sur une largeur d'environ 15 centièmes du diamètre. Leur excès sur le centre, faible peu après l'opposition de 1924, paraît avoir augmenté rapidement pour rester ensuite à peu près constant. Il était en moyenne de 3,2 millièmes à l'Est, contre 2,4 à l'Ouest.

En 1925 et en 1926, les résultats ont été en tous points semblables : l'étendue des régions distinctes du centre a varié entre 10 et 25 centièmes du diamètre, mais leur polarisation s'est toujours montrée, en valeur algébrique, supérieure à celle du centre, *toujours plus forte algébriquement à l'Est qu'à l'Ouest, aussi bien avant qu'après l'opposition*. Le bord couchant diffère donc systématiquement du bord levant ; ce fait prouverait que le Soleil, malgré sa distance, exerce encore une influence sensible sur l'atmosphère de Jupiter.

CALOTTES POLAIRES

Phénomène général. — Dès les premières mesures effectuées sur Jupiter, en 1922, j'ai constaté avec surprise, près des pôles de la planète, l'existence d'une polarisa-

TABLEAU X

Jupiter. — Polarisation anormale des calottes polaires.

Date et Heure	V	O	Régions centrales P	Calotte polaire Nord			Calotte polaire Sud			QUALITÉ DES IMAGES ET OBSERVATIONS DIVERSES		
				limite polar. F	bord Nord P	zone moyenne φ	limite polar. F	bord Sud P	zone moyenne φ			
1923	1 ^{er} mai	22 ^h	0053'O	16	38°	53°	16	43°	58°	17	Excellentes. Pol. limitée aux calottes.	
	3	22	0 30 O	16	..	..	..	..	37	18	Calotte S. plus étendue et polar. que N.	
	30	22	4 52 E	17	..	..	10	..	..	15		
11 juin	21	6 52 E	17	17	37	..	13	49	..	..	Pol. déborde la calotte N., mal délimitée.	
24	21	8 41 E	17	21	31	..	17	43	..	..	Pol. limitée aux calottes.	
3 juillet	21	9 31 E	17	3,5	..	..	19	..	58	31	Pol. s'accroît rapidement au pôle S.	
11	21	10 7 E	17	5,1	..	30	..	..	..	..	Pol. anormale s'étend aux deux calottes.	
1924	4 mai	2	6 19 O	81	14	60	13	48	73	62	Bonnes.	
26		23	2 16 O	81	19	34	16	45	..	..	Assez bonnes.	
2 juin	23	0 39 O	81	0	..	57	..	..	65	..	Calottes polarisées jusqu'à leurs limites.	
5	23	0 8 E	81	.....	20	33	20	37	83	..		
10	1	0 50 E	81	0	..	76	..	..	80	24	Pol. des deux calottes presque identiques.	
16	22	2 21 E	81	- 0,8	25	26	..	20	37	..	Extrêmement agitées, mesures douteuses.	
25	23	4 1 E	81	- 1	..	63	..	..	78	..		
30 juillet	23	9 16 E	17	- 4,7	11	48	..	18	41	..	Nuage gris cache en partie la calotte N.	
1925	16 juin	1	4 46 O	81	17	38	14	46	80	59	Excellentes.	
30	23	2 0 O	81	+ 0,2	..	82	..	..	62	..	Excellentes.	
1926	21 mai	3	11 30 O	81	15	43	14	45	..	58	37	
31	3	11 14 O	81		21	34	19	38	72	52	32	
20 juin	1	9 56 O	81	- 5,6	19	37	19	38	85	53	18	Moyennes,
2 août	1	3 0 O	81	+ 0,5	19	36	14	45	87	58	25	Pol. de la calotte N. mal délimitée.
6	0	2 10 O	81	+ 1,8	16	41	14	44	60	55	31	
8 septembre	21	5 3 E	81	- 1,2	..	69	..	..	73	..	..	Pol. plus étendue au N. qu'au S.
29	22	8 33 E	81	- 3,8	23	31	16	41	..	..	..	
1 ^{er} novembre	21	11 16 E	81	- 5,5	..	78	13	46	73	..	..	

F : distance apparente au bord polaire le plus proche, exprimée en centièmes du diamètre polaire.

φ : latitude planétocentrique.

Les autres abréviations sont les mêmes que pour le tableau V.

tion très différente de celle du centre. Je l'ai attribuée, en premier lieu, à une cause instrumentale.

Au mois d'avril 1923, Jupiter étant observable à nouveau dans de bonnes conditions, j'ai entrepris une étude détaillée de la polarisation des calottes polaires, en ayant soin d'éliminer entièrement le spectre secondaire de l'objectif. J'ai découvert ainsi les phénomènes suivants :

Plan de polarisation. — Sur les calottes grises qui environnent les pôles de Jupiter, le plan de polarisation est indépendant des positions relatives de la Terre et du Soleil ; il reste fixe, même vers l'opposition, tandis que le plan de vision tourne en décrivant près de 180 degrés.

Il n'est pas le même en chaque point : le long du méridien central, il est perpendiculaire à ce méridien. En s'écartant de celui-ci, il tourne de manière à rester toujours parallèle au bord le plus proche ⁽¹⁾.

Proportion de lumière polarisée. — La proportion de lumière polarisée paraît indépendante des conditions d'éclairement : elle est maximum aux pôles, décroît régulièrement vers l'équateur et devient égale à celle du centre sous une latitude variable qui peut s'abaisser jusqu'à 35 degrés ⁽²⁾.

Variation de la proportion de lumière polarisée avec la latitude. — J'ai effectué des mesures fréquentes, en 1923 et les années suivantes, le long du méridien central, à diverses distances apparentes du bord.

Ces distances étaient quelquefois mesurées avec un micromètre, le plus souvent, elles étaient mesurées sur des dessins ou même estimées directement en centièmes du diamètre polaire ; l'erreur commise ainsi ne dépassait pas deux unités.

Les résultats obtenus sont résumés par le tableau X. En général, la polarisation décroissait à partir du bord, suivant une loi à peu près linéaire. On s'en rendra compte en examinant les graphiques de la figure 14, tracés avec quelques-unes des séries de valeurs obtenues.

Cette règle comporte cependant quelques exceptions :

Parfois, la polarisation anormale de la calotte Nord, au lieu de disparaître à une latitude bien déterminée, se prolongeait vers l'équateur avec une limite floue. Ce fait s'est produit, en particulier, le 2 août 1926.

⁽¹⁾ Cette propriété est facile à vérifier au bord jusqu'à 30° des pôles, de part et d'autre du méridien central ; en ces points, les plans de polarisation forment entre eux un angle sensiblement égal à 60°.

⁽²⁾ Les latitudes adoptées dans cet ouvrage sont définies comme la distance angulaire du point considéré à l'équateur, mesurée à partir du centre de la planète. Pour Jupiter et Saturne, une définition précise est nécessaire, en raison de leur fort aplatissement.

Le 30 juillet 1924, à 23 heures, un nuage gris, dont la polarisation était négative et voisine de celle du centre, recouvrait le bord de la calotte polaire Nord. La polarisation de cette calotte s'étendait alors moins loin que d'habitude et cessait assez brusquement au bord du nuage, à une distance du pôle Nord égale à 11 centièmes du diamètre polaire.

Etendue de la polarisation anormale. — Les régions présentant la polarisation anormale avaient sensiblement la même étendue que les calottes grises dont les pôles sont recouverts.

J'ai mesuré souvent leurs limites, soit directement en notant le point où les franges cessaient de se comporter comme celles des régions centrales, soit au moyen de graphiques tels que ceux de la figure 14. Les chiffres trouvés sont du même ordre. Ils figurent sur le tableau X, ainsi que la proportion de lumière polarisée du bord polaire extrême.

L'étendue apparente et l'étendue en latitude se sont presque toujours montrées plus fortes au Nord qu'au Sud, sauf pendant l'anomalie du 30 juillet 1924.

Polarisation maximum. — La polarisation du bord polaire extrême a été, soit mesurée directement lorsque les images étaient bonnes, soit extrapolée.

En 1923, la polarisation maximum du Sud était toujours plus forte que celle du Nord ; la différence, voisine de 20 millièmes au début des observations, s'atténua régulièrement pour devenir insensible en 1926. Le changement d'inclinaison de l'axe de Jupiter ne paraît pas suffire à expliquer ces variations.

Les chiffres trouvés oscillent irrégulièrement, parce qu'il est difficile de mesurer la polarisation du bord extrême, l'agitation des images déplaçant le point observé. En tenant compte seulement des mesures faites à la grande lunette, qui sont les plus précises, la polarisation du bord Nord aurait varié de 53 à 83 millièmes et celle du bord Sud, de 70 à 83 millièmes.

Comme on le voit, cette polarisation est très forte et peut être observée même avec un simple polariscope de Savart à franges serrées. Lorsque les franges se projettent sur la planète, parallèlement à la ligne des pôles, elles sont visibles jusqu'à une distance des bords égale au dixième du diamètre.

Saturne.

Conditions d'observation. — Saturne, gravitant autour du Soleil à une distance deux fois plus grande que Jupiter, se présente à nous dans des conditions d'éclairement encore moins variées.

Aux quadratures, l'angle de vision atteint seulement 5°50', tandis qu'aux

oppositions, il passe par un minimum compris entre 0 et 17 minutes. Cette très petite fraction des courbes de polarisation nous est seule accessible.

Saturne offre, cependant, à nos regards, des aspects assez variés d'une année sur l'autre, grâce à la forte inclinaison de son équateur et de son anneau sur le plan de son orbite, inclinaison voisine de 28° .

Par contre, le diamètre apparent de Saturne, peu variable, est beaucoup plus petit que celui de Jupiter et n'atteint que $19''$ à l'opposition. Sa brillance est également beaucoup plus faible, si bien que l'étude séparée de ses détails exige un grand instrument, des images assez bonnes et une atmosphère assez transparente.

Pendant mes observations, Saturne est resté bas.

Au début, en mai 1922, il s'élevait au méridien à 43° au-dessus de l'horizon de Meudon, tandis qu'à l'opposition de 1927, sa hauteur ne dépassait pas 23° . Malgré cela, les images ont été assez souvent bonnes, surtout en 1925, ce qui permit d'appliquer le grossissement 900 à l'étude de l'anneau.

Le pôle Nord était, tout d'abord, légèrement incliné vers la Terre; on voyait encore, cependant, une grande partie de l'hémisphère Sud; d'autre part, l'anneau, peu ouvert, était difficile à observer.

Le pôle Nord s'est penché de plus en plus vers nous et l'hémisphère austral a disparu derrière l'anneau qui s'est incliné progressivement, pour atteindre son plus grand développement en 1928.

RÉGIONS CENTRALES

La polarisation de Saturne, comme celle de Jupiter, présente, près des bords, certaines anomalies. Pour cette raison, je n'ai pas étudié la polarisation moyenne du disque, mais seulement celle des régions situées vers le centre, près de l'équateur, et couvrant environ le quart de sa surface.

Cette polarisation était, d'ailleurs, très uniforme. Sa valeur est donnée par les tableaux XI et XII.

En 1922, j'ai effectué quelques mesures au 83 centimètres, la plupart sans écran jaune; elles paraissaient peu précises et n'ont pas donné de résultats concordants.

En 1923, possédant une plus grande habitude du polarimètre, j'ai fait une série de mesures plus précises avec le 17 centimètres; les résultats obtenus sont représentés par la courbe de la figure 18, page 75. Celle-ci montre une polarisation négative, faible à l'opposition, s'inversant vers $20^{\circ}40'$, pour croître ensuite rapidement.

Les observations faites à la grande lunette, en 1924 (figure 19), montrent une polarisation positive, très faible à l'opposition, puis rapidement croissante.

En 1925, très peu de mesures ont été prises; la polarisation a suivi une loi intermédiaire à celles de 1923 et 1924.

Il en a été de même en 1926, comme l'indique la figure 20.

Enfin, quelques mesures faites en 1927 paraissent indiquer des variations semblables à celles de 1924. Toutes ces courbes, très voisines, diffèrent totalement de celles des autres planètes.

ZONES ET BANDES

En 1924 et 1925, j'ai souvent comparé la zone claire équatoriale à la bande sombre tropicale Nord ; elles ont toujours présenté des polarisations identiques, sauf cependant du 15 juin au 7 juillet 1925 où la polarisation de l'équateur dépassait de 0,4 à 0,9 millièmes celle de la bande voisine.

Le 9 juin 1924, j'ai constaté que la zone claire, comprise entre la large bande tropicale et la calotte polaire boréale (entre les latitudes 45 et 65), avait une polarisation négative, inverse de celles des autres parties du disque. Cette polarisation passa par un minimum d'environ -3 millièmes le 15 juin, puis s'inversa entre le 16 et le 25 ; mais, jusqu'au 7 juillet, fin des observations, elle resta très inférieure à celle du centre. Cette zone présentait une nuance plus claire et moins jaune que la zone équatoriale. Aucun phénomène particulier ne s'y manifesta au cours des années qui suivirent.

TABLEAU XI

Saturne. — Années 1922 et 1923, régions centrales.

Date et Heure	V	O	M	E	P	OBSERVATIONS
1922 15 mai 21 ^h	4°48' E	81	2	0	0	
1 ^{er} juin 23	5 43 E	81	2	0,1	+ 5,8	ciel se couvre
20 22	6 6 E	81	5	1	+ 8,8	images agitées
23 22	6 6 E	81	4	1,5	+ 8,1	images mauvaises
29 22	6 4 E	81	2	0,8	+ 5,5	
1923 14 avril 22	0 49 E	15	4	0,5	- 1,6	
17 21	1 6 E	15	1	...	- 1,2	
18 21	1 13 E	15	4	0,2	- 0,7	cirrus légers
23 20	1 44 E	16	4	0,8	- 1,7	
1 ^{er} mai 21	2 34 E	16	4	0,6	- 0,6	images excellentes
3 22	2 46 E	16	1	...	+ 0,7	
30 21	4 54 E	17	3	0,6	+ 2,5	cirrus
1 juin 21	5 1 E	17	2	0,4	+ 4,0	
11 21	5 31 E	17	4	1,1	+ 3,6	

Les abréviations sont les mêmes que pour le tableau V.

TABLEAU XII

Saturne. — Années 1924 à 1927.

Calotte polaire Nord et régions voisines												
Polarisation anormale												
Régions centrales			limite polar.				limite calotte		milieu calotte		pol. moyenne	
			F	φ	F	φ	F	φ	F	φ	P	P
1924	Date et Heure	V	O	P								
	18 avril	21 ^h 00 ^m 17 ^s	81	+ 0,5	..	..	..	..	..	..	..	..
	20	22 0 20 E	81	+ 0,7	23	47°	10	68°	..	82°	23	..
	21	22 0 25 E	81	+ 0,6	28	42	..	..	22	..	20	..
	3 mai	23 1 38 E	81	+ 0,5	..	..	..	..	22	..	23	..
1925	10	21 2 18 E	81	+ 1,3	..	..	..	..	..	..	19	..
	18	21 3 4 E	16	+ 3,1	..	..	..	..	..	..	..	..
	26	22 3 45 E	81	+ 1,8	11	63	11	69	..	77	16	77
	2 juin	22 4 19 E	81	+ 2,4	..	..	..	..	..	..	16	..
	5	22 4 31 E	81	+ 3,9	12	63	12	63	16	..	..	..
	9	23 4 47 E	81	+ 4,6	9	70	6	76	..	85	20	..
	15	22 5 7 E	81	+ 6	10	67	10	67	..	77	13	77
	16	21 5 10 E	81	+ 6,2	9	63	10	67	..	..	..	..
	23	21 5 29 E	60	+ 4,8	..	..	..	..	..	..	..	..
	25	22 5 33 E	81	+ 6	..	..	..	..	..	..	..	..
1925	7 juillet	21 5 53 E	81	+ 6,6	..	..	..	..	..	..	..	..
	21 avril	23 1 6 O	81	+ 0,3	31	40	9	75	..	86	25	62
	2 mai	22 0 18 E	81	.....	33	38	11	70	29	84	29	17
		..		..	..	..	..	..	..	..	..	..
	16	23 1 36 E	81	0	32	39	..	..	29	..	29	..
	3 juin	23 3 19 E	81	+ 2	32	39	..	26	..	..	..	..
	5	21 3 29 E	13	.....	29	43	..	..	..	..	..	64
	15	22 4 16 E	81	.....	26	48	..	..	30	..	17	..
	30	21 5 9 E	81	+ 4,9	29	43	..	..	20	..	13	..

Date et Heure		Régions centrales			Calotte polaire Nord et régions voisines										QUALITÉ DES IMAGES ET OBSERVATIONS DIVERSES	
		V	O	P	Polarisation anormale					Polarisation normale						
		21 ^h			limite polar. F	φ	limite calotte F	φ	bord Nord P	milieu calotte φ	pol. moyenne φ	P				
1926	13 mai	00 ^m 15 ^s O	81	— 1,9	15	67	11	75	..	..	83	7	Très mauvaises.			
	20	0 39 E	81	— 0,9	17	64	..	..	14	..	80	6	Mauvaises.			
	31	1 50 E	81	0	21	60	6	86	16	..	15	5	Fixes par instants.			
	19 juin	22 3 30 E	81	+ 2	16	65	8	82	..	..	13	5	Assez bonnes, puis mauvaises.			
	1 ^{er} août	20 5 46 E	81	.....	16	65	..	..	..	..	14	7	Calmes, mais ciel brumeux.			
1927	2	20 5 47 E	81	+ 6	..	..	..	..	..	..	10	..	Mauvaises et pâles.			
	7	22 5 50 E	81	+ 6,9	..	..	..	..	..	..	16	..	..			
	8 mai	23 1 50 O	81	+ 0,7	11	78	..	..	..	..	90	5	Pol. très peu étendue.			
	14	23 1 14 O	81	+ 0,8	11	78	..	..	..	..	90	3	Calotte très sombre et très petite.			
	19	23 0 43 O	81	.....	11	78	..	..	..	..	90	7	Mauvaises, ciel se couvre.			
	25	0 0 16 O	81	.....	9	82	8	85	..	..	..	10	..			
	4 juillet	22 3 46 E	81	+ 1,6	15	70	..	..	..	..	85	5	Bouillonnantes, vent violent.			
	7 septembre	20 5 39 E	81	+ 5,5	..	..	..	..	..	..	..	..	Bouillonnantes, ciel transparent.			
													..	..		
														..	..	

F : distance limite apparente au bord Nord, exprimée en centièmes du diamètre polaire.

φ : latitude planétocentrique correspondante.

Les autres abréviations sont les mêmes que pour le tableau V.

CALOTTES POLAIRES

En 1925, après avoir observé, sur les calottes polaires de Jupiter, les curieuses polarisations précédemment décrites, j'ai examiné les pôles de Saturne dans l'espoir d'y découvrir un phénomène analogue.

Malheureusement, la grande lunette de Meudon étant immobilisée, pendant toute l'année, par la réfection de la coupole, j'ai dû employer l'équatorial de 0^m175.

Malgré le faible éclat des images qui ne permettait pas d'appliquer à Saturne un grossissement supérieur à 200, les pôles ont semblé nettement plus polarisés que l'équateur.

CALOTTE POLAIRE NORD

J'ai suivi la calotte polaire Nord de Saturne, avec la grande lunette, de 1924 à 1927, pendant chaque opposition.

Le 18 avril 1924, Saturne passait en opposition et la polarisation des régions centrales était presque insensible. Sur les régions voisines du pôle Nord, elle était, au contraire, très forte, son plan semblait parallèle au grand axe de l'anneau.

Plan de polarisation. — Les mesures effectuées les jours suivants ont montré que le plan de polarisation ne dépendait pas de la direction du Soleil :

Suivant le méridien central, il était, à deux degrés près, perpendiculaire à l'axe de Saturne.

En s'écartant de celui-ci de part et d'autre, il tournait de manière à rester, en chaque point, à peu près parallèle à la portion du bord la plus voisine.

Des mesures faites près du bord, le 3 mai 1924, à 50° à l'Est et à l'Ouest du méridien central, ont donné des déviations de 21° et de 30°. Le 4 mai 1925, les déviations correspondantes, relevées à 20° du méridien, ont été respectivement de 17° et 18°. Ces phénomènes sont tout à fait semblables à ceux que présente Jupiter.

Etendue des régions intéressées et proportion de lumière polarisée. — L'ensemble des observations est résumé par le tableau XII. En 1924, les 20 et 21 avril, la polarisation atteignait 23 millièmes au pôle, restait sensiblement constante entre celui-ci et le bord Nord et décroissait, au contraire, à peu près linéairement vers le Sud, pour devenir égale à celle du centre, à une distance du bord Nord correspondant à 28 centièmes du diamètre polaire, soit à la latitude 42.

Les régions de polarisation anormale débordaient très largement la calotte sombre qui occupait les latitudes supérieures au 68° degré environ.

Il en était encore de même le 3 mai. Au contraire, à partir du 10 mai, la polarisation anormale fut réduite à cette calotte ; son étendue diminua encore le 9 juin, si bien qu'à la fin des observations, elle occupait seulement 9 à 10 centièmes du diamètre, soit les latitudes supérieures au 70^e degré.

En même temps, la polarisation avait diminué, son maximum oscillait entre 15 et 20 millièmes.

En 1925, le 21 avril, reprenant les mesures, je fus surpris de trouver la polarisation anormale à nouveau très étendue et aussi forte qu'en avril 1924. Elle occupait 31 centièmes du diamètre polaire et descendait jusqu'à la latitude 40. Il en fut de même jusqu'au 30 juin, fin des observations, tandis que la calotte sombre conservait sa dimension d'avril 1924.

La proportion de lumière polarisée, de 25 à 30 millièmes près du pôle, restait constante sur 6 à 8 centièmes du diamètre polaire, puis diminuait régulièrement.

En 1926, du 13 mai au 7 août, la polarisation anormale resta, au contraire, limitée aux 16 centièmes du diamètre, soit à la latitude 65, sauf le 31 mai, où elle descendit jusqu'au 58^e degré.

La tache sombre, plus réduite que l'année précédente, n'atteignait que le 83^e degré.

La proportion de lumière polarisée n'était plus que de 5 à 10 millièmes, en moyenne, et de 14 millièmes au bord.

En 1927, la polarisation anormale avait encore diminué, dépassant à peine la calotte grise, elle couvrait moins de 11 centièmes du diamètre, soit les latitudes supérieures au 80^e degré. Elle se développa un peu à la fin du mois, pour atteindre le 70^e degré, le 4 juillet.

La proportion de lumière polarisée était très variable, sa valeur moyenne allait de 3 à 10 millièmes.

Les régions polaires Nord de Saturne présentent donc des phénomènes tout à fait semblables à ceux que j'ai décrits sur Jupiter, mais beaucoup moins constants : leur étendue et leur intensité subissent des variations parallèles très importantes.

HÉMISPHERE SUD

Au printemps 1923, l'hémisphère Sud paraissait, de même que l'hémisphère Nord, plus polarisé que l'équateur ; mais, n'ayant à ma disposition que la lunette de 175 millimètres d'ouverture, je n'ai pas pu vérifier ce fait avec certitude.

En 1924, à la grande lunette, l'hémisphère Sud, visible entre les latitudes 27 et 70, ne se montra pas sensiblement différent du centre.

En 1925, bien que la partie observable fût encore plus réduite (latitude 38 à

68), la polarisation atteint 5 millièmes à l'opposition, valeur du même ordre que celle des régions boréales correspondantes.

Les régions polaires australes de Saturne semblent donc présenter des phénomènes analogues à ceux des régions polaires boréales, ces phénomènes seraient sujets également à d'importantes variations.

Pour vérifier commodément cette conclusion, il faut attendre l'année 1935 où le pôle Sud s'inclinera de nouveau vers la Terre.

Anneaux de Saturne.

Premières mesures. — J'ai étudié tout d'abord, au printemps 1923, la polarisation de l'ensemble des anneaux, vers le milieu des anses ; la grande lunette étant.

TABLEAU XIII

Ensemble des deux anneaux de Saturne.

Date et Heure	V	O	PROPORTION de lumière polarisée		IMAGES
			A. O.	A. E.	
1923 1 ^{er} mai 22 ^h	2°34' E	16	.....	— 2,1	
1 ^{er} juin 21	5 1 E	17	.....	— 6,6	
11 21	5 31 E	17	.....	— 2,8	
1924 20 avril 22	0 20 E	81	— 2,8	— 2,9	
21 22	0 24 E	81	— 2,3	— 2*	
3 mai 23	1 38 E	81	— 3,6	— 4,5	
10 21	2 18 E	81	— 3,7	— 3,6	très agitées
18 21	3 4 E	17	.....	< 0	
26 22	3 45 E	81	— 2,4	— 2,7	agitées
2 juin 22	4 19 E	81	— 3	.....	
5 22	4 31 E	81	— 2,9	— 3,5	assez calmes
9 23	4 47 E	81	— 3	— 4	calmes
15 22	5 07 E	81	— 3,3	— 4,2	
16 21	5 10 E	81	— 3	.....	agitées
23 21	5 29 E	60	— 5,3	— 2,8*	
25 22	5 33 E	81	— 1,8	— 1,9	
6 juill. 21	5 52 E	60	.....	— 4,4	
7 21	5 53 E	81	.....	— 4	
1925 21 avril 23	1 6 O	81	— 2,2	— 2,6	assez bonnes
2 mai 22	0 18 E	81	— 5*	— 4,2*	bonnes mesures
4 22	0 26 E	81	— 1,8	— 2	vent s'élève

A. O. : anse Ouest ou anse précédente.

A. E. : anse Est ou anse suivante.

Les autres abréviations sont les mêmes que pour le tableau V.

TABLEAU XIV

Anneau de Saturne étudiés séparément.

Date et Heure	V	X	Proportion de lumière polarisée				Plan de polarisation				QUALITÉ DES IMAGES ET OBSERVATIONS DIVERSES
			Intérieur		extérieur		Intérieur		extérieur		
			A. O.	A. E.	A. O.	A. E.	A. O.	A. E.	A. O.	A. E.	
1925 4 mai 23 ^h	0°26' E	140,5	.....	.....	— 3,4*	— 2,4	235°	229°,5	258°	215°	
5 22	0 31 E	141,3	— 4,5	— 4,8	— 3,8	— 7,7	227	223	244	221*	vent violent.
17 20	1 36 E	118,3	— 4,5	— 5,0*	.....	— 7,3	202*	.....	.....	197*	assez bonnes.
3 juin 23	3 19 E	112,4	— 3,5	— 3,4*	.....	— 3,5	.....	.....	.....	183*	
15 22	4 16 E	111,5	— 2,2*	— 3,1	— 4,2*	— 5,9*	.....	.....	192	193	excellentes.
30 21	5 9 E	110,2	— 4,1*	— 4,0	— 2,4	.....	.....	.....	230	203	assez bonnes.
1926 20 mai 22	0 39 E	126,8	— 5,0*	— 4,2*	.....	— 6,9*	219*	213*	232*	200*	médiocres, puis meilleures.
31 22	1 50 E	112,1	.....	.....	.....	.....	207*	195*	235*	189*	assez bonnes par instants.
19 juin 22	3 30 E	108,5	— 5,3*	— 4,4*	— 5,7*	— 8,2*	195*	195,5*	202*	199*	assez bonnes, puis médiocres.
14 mai 23	1 14 O	90,5	— 4,7	— 4,8	— 2,6	— 8,7	180	181*	190*	161	
19 mai 24	0 43 O	81,7	.....	.....	.....	.....	176*	174*	.....	.....	mauvaises, ciel se couvrant.
24 24	0 16 O	49,6	— 3,7*	— 3,4	— 5,7*	— 7,5	139	140	170	135	
25 24	0 13 O	28,0	.....	.....	.....	.....	120*	.....	.....	.....	médiocres, ciel brumeux.
26 24	0 13 E	0,0	— 2,4	— 2,6	— 2,4	— 4,8	267	261	.....	198	
15 juin 24	2 5 E	.....	— 4,5	— 4,4	.....	.....	.....	.....	.....	.....	agitées et pâles.
21 22	2 39 E	.....	— 4,3	— 3,5	.....	.....	.....	.....	.....	.....	agitées.
22 22	2 45 E	.....	.....	— 4,2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	bouillonnantes.
27 22	3 11 E	.....	.....	4,1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	médiocres.
4 juill. 22	3 46 E	.....	— 3,4	— 3,6	.....	.....	.....	.....	.....	.....	vent violent.
11 23	4 17 E	.....	— 3,3	— 3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	très pâles.
2 sept. 20	5 44 E	.....	.....	— 1,1*	.....	.....	.....	.....	.....	.....	pâles, mesure médiocre.
5 20	5 41 E	.....	.....	— 2,2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	
6 20	5 40 E	.....	— 1,6	— 1,8	.....	.....	.....	.....	.....	.....	médiocres, s'améliorant.
7 20	5 39 E	.....	— 2,1	— 2,0	.....	.....	.....	.....	.....	.....	lumineuses, excellentes mesures.
21 ..	5 12 E	.....	.....	— 3,2	.....	.....	.....	.....	.....	.....	lumineuses, mais agitées.

V : angle de vision.

X : angle de position du plan de vision.

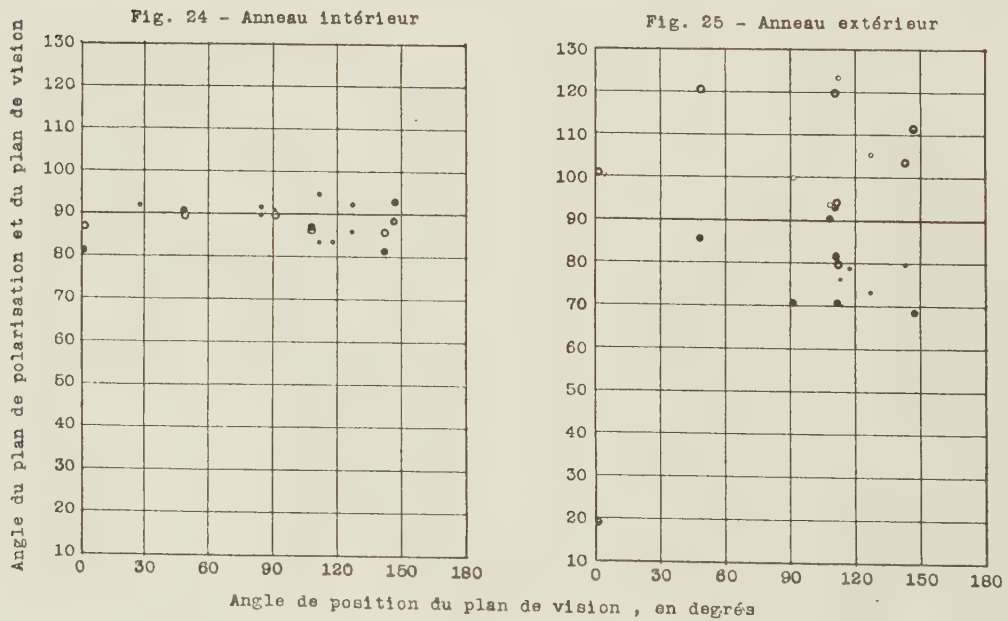
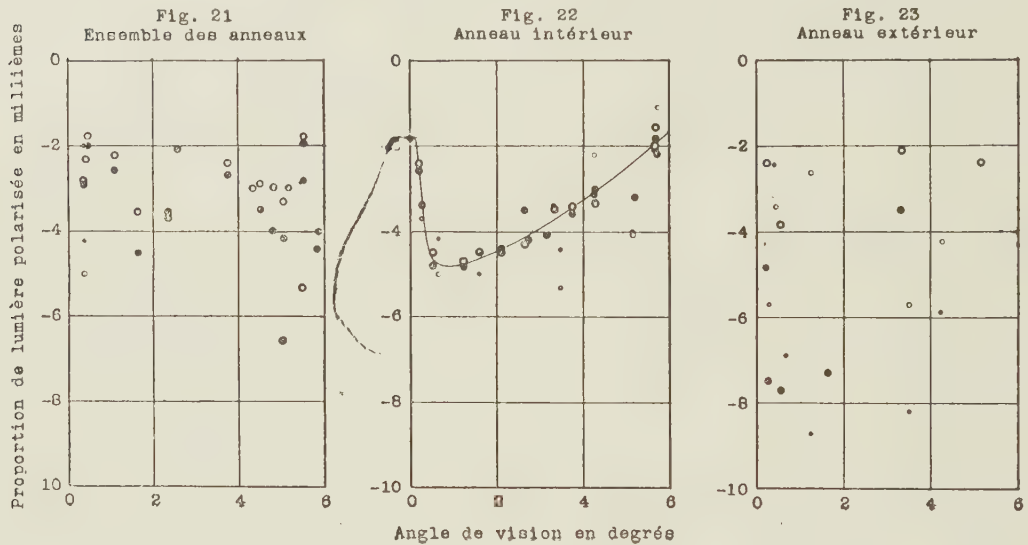
A. O. : anse Ouest ou anse précédente.

A. E. : anse Est ou anse suivante.

Les chiffres marqués d'un astérisque sont le résultat d'une seule mesure.

Toutes les mesures ont été faites avec la grande lunette ; ouverture libre 81 centimètres.

Anneaux de Saturne - proportion de lumière polarisée - plan de polarisation



Points obtenus sur l'annee Est	{	résultat d'une seule mesure	•	•	•
		moyenne de plusieurs mesures	o	o	o
Points obtenus sur l'annee Ouest	{	résultat d'une seule mesure	•	•	•
		moyenne de plusieurs mesures	o	o	o

alors immobilisée, comme je l'ai indiqué précédemment, j'ai eu d'abord recours au 175 millimètres.

Bien que peu précises à cause du manque de lumière, les mesures ont révélé cependant des polarisations grossièrement perpendiculaires au plan de vision et comprises entre — 2 et — 6 millièmes.

En 1924, j'ai examiné fréquemment les mêmes régions avec la grande lunette munie d'un oculaire grossissant 350 fois, insuffisant pour bien séparer la polarisation des deux anneaux. Les proportions de lumière polarisée trouvées ainsi sont données par le tableau XIII et représentées, en fonction de l'angle de vision, par le graphique de la figure 21.

Ces résultats confirment, dans l'ensemble, ceux de 1923; cependant ils sont peu satisfaisants. On ne peut faire passer une courbe régulière par les points du graphique dont les ordonnées paraissent varier d'une manière tout à fait incohérente.

J'ai fait également quelques mesures en d'autres points de l'anneau, principalement de part et d'autre des sommets et sur la partie qui passait devant la planète, sans obtenir des valeurs plus concordantes. Cependant la branche antérieure de l'anneau paraissait nettement plus polarisée que la branche postérieure et, vers l'opposition, le plan de polarisation semblait tourner le long de l'anneau, dans le même sens que le rayon de la planète.

J'ai cru, d'abord, pouvoir expliquer ces apparences en attribuant la polarisation de l'anneau, tout au moins en partie, à la lumière qu'il reçoit de l'hémisphère éclairé de Saturne.

Les premières mesures de 1925 montrèrent qu'en réalité les phénomènes sont beaucoup plus complexes et que, pour obtenir des résultats nets, il est indispensable d'étudier isolément les deux anneaux concentriques séparés par la division de Cassini.

Cette étude, entreprise le 5 mai 1925, a été poursuivie en mai et juin de la même année, en mai et juin 1926 et de mai à septembre 1927, avec des grossissements de 550 à 900. Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau XIV.

ANNEAU INTÉRIEUR (B)

L'anneau intérieur à la division de Cassini est assez facile à étudier isolément, près des sommets, en raison de sa grande largeur et de son grand éclat.

En 1925, le grossissement 550, appliqué à des images de qualité moyenne, s'est toujours montré suffisant.

En 1927, l'ouverture des anneaux ayant augmenté, j'ai pu effectuer de bonnes mesures jusqu'à la quadrature Est de septembre, malgré des images très médiocres et une assez forte absorption atmosphérique.

Plan de polarisation. — La proportion de lumière polarisée de l'anneau intérieur a toujours été suffisante (plus de 2 millièmes), pour permettre de déterminer son plan de polarisation avec une erreur inférieure à une dizaine de degrés. Les résultats sont donnés par le tableau XIV.

Près des sommets, ce plan s'est toujours montré perpendiculaire au plan passant par le Soleil, à moins de 10 degrés près et, pourtant, le plan de vision tournait quelquefois très rapidement, au point de balayer plus de 20 degrés par jour, vers l'opposition de 1927.

Cette propriété remarquable apparaît sur le graphique de la figure 24 obtenu en portant, en abscisse, l'angle de position du plan de vision et, en ordonnée, l'angle que le plan de polarisation fait avec le plan de vision.

Proportion de lumière polarisée. — Le tableau XIV donne les proportions de lumière polarisée trouvées près des sommets de l'anneau intérieur.

Les points de la courbe 22 représentent toutes les valeurs obtenues. Les plus gros d'entre eux correspondent à la moyenne de plusieurs lectures ; ils sont remarquablement alignés, bien qu'ils se rapportent aux deux anses de l'anneau et à trois années différentes. Par conséquent, la proportion de lumière polarisée est exactement la même sur les deux sommets et dépend uniquement de l'angle de vision. La courbe qui représente ses variations est très différente de celles que nous avons rencontrées jusqu'ici. Ses ordonnées sont négatives pour les petits angles, ce qui la rapprocherait de celle de la Lune, mais son minimum de — 5 millièmes est atteint pour 1 degré seulement (au lieu de 11 degrés pour la Lune). La polarisation croît ensuite presque linéairement en valeur algébrique et s'inverserait probablement entre $7^{\circ} \frac{1}{2}$ et 8° pour un observateur situé sur Mars ou sur Jupiter.

L'angle de vision atteignit sa plus faible valeur, de $11'$, pendant l'opposition de 1927 ; à ce moment, la polarisation valait encore 2,5 millièmes. Il ne s'annulera qu'en juillet 1931. Nous ne pouvons donc pas connaître l'origine de la courbe avant cette date. Par contre, nous pourrions la déterminer plus correctement que pour toutes les autres planètes, en raison du faible diamètre apparent du Soleil qui, vu de Saturne, sous-tend seulement $5'11''$.

L'anneau intérieur m'a semblé parfois un peu plus polarisé sur son bord interne que près de la division de Cassini, un peu plus également sur sa branche antérieure que sur sa branche postérieure ; mais ces différences, très faibles, sont incertaines.

ANNEAU EXTÉRIEUR (A)

L'anneau extérieur à la division de Cassini est beaucoup plus difficile à obser-

ver que l'autre. Il est un peu plus étroit et beaucoup plus sombre et l'œil est souvent gêné par l'éclat de l'anneau intérieur.

Pour pouvoir effectuer des mesures correctes, de bonnes images sont nécessaires ainsi qu'une bonne transparence atmosphérique et un fort grossissement. Dans ces conditions, l'ouverture de 83 centimètres suffit pour obtenir, sur l'anneau extérieur, des résultats nets, mais moins précis que sur l'anneau intérieur.

J'ai utilisé, la plupart du temps, le grossissement 900 qui assombrissait déjà un peu trop les images. Le grossissement 550, employé quelquefois, paraissait un peu insuffisant.

Plan de polarisation. — Comme le montre le tableau XIV, le plan de polarisation de l'anneau extérieur est très différent de celui de l'anneau intérieur. Il ne coïncide, ni avec le plan de vision, ni avec sa normale et, en outre, son orientation n'est pas la même sur les deux anses.

Ces phénomènes m'ont beaucoup surpris ; aussi ai-je cherché s'ils n'avaient pas une cause instrumentale. Je n'ai pu en découvrir aucune :

Lorsqu'on fait tourner le polarimètre de 180° , les résultats restent inchangés.

Si l'on oriente le polarimètre de manière à réaliser l'égalité des franges sur une des anses de l'anneau extérieur, cette égalité cesse d'avoir lieu lorsqu'on amène au centre du champ, soit l'autre anse, soit l'anneau intérieur.

Le graphique 25 résume les résultats obtenus. Il a pour abscisses les angles de vision et pour ordonnées les angles que le plan de polarisation formait avec le plan de vision. On voit que l'angle des deux plans est, en général, voisin de 80° pour l'anse Est, de 95° à 120° pour l'anse Ouest.

Proportion de lumière polarisée. — La proportion de lumière polarisée possède la même dissymétrie, comme le montre le graphique 23. Elle paraît varier irrégulièrement, de 2 à 5 millièmes pour l'anse Ouest et de 4 à 9 millièmes pour l'anse Est. C'est donc l'anse Est, dont le plan de polarisation est le moins dévié, qui possède la polarisation la plus forte.

Ces phénomènes, très curieux, me paraissent tout à fait certains, mais leur interprétation est rendue difficile par la précision insuffisante des mesures. J'essaierai cependant de les expliquer au chapitre VII, après avoir étudié, en laboratoire, les propriétés polarisantes des différents corps.

DEUXIÈME PARTIE

RECHERCHES EN LABORATOIRE

INTRODUCTION

Le chapitre précédent nous amène à considérer les planètes comme le siège de phénomènes de polarisation nombreux et variés.

Il serait très important de trouver l'explication de ces phénomènes et d'en déduire quelques conclusions concernant la nature du sol, des nuages ou des atmosphères planétaires. Le plus sûr moyen d'obtenir ce résultat consisterait à comparer les polarisations trouvées sur les planètes à celles que donnent diverses substances, éclairées et examinées dans des conditions équivalentes.

En vue de cette comparaison, nous allons d'abord examiner sommairement les principaux résultats qui ont été obtenus jusqu'ici sur :

La polarisation par les solides.

La polarisation par les nuages de particules solides ou liquides.

CHAPITRE IV

HISTORIQUE

POLARISATION PAR LES SOLIDES

Etude générale. — La polarisation de la lumière diffusée par les solides fut reconnue assez tardivement ; elle échappa, en particulier, à Arago qui attribuait, comme nous l'avons vu, la polarisation de la Lune à la présence d'une atmosphère sur notre satellite.

Elle fut étudiée, pour la première fois, par Laprovostaye et Desains ⁽¹⁾, en 1852.

Ces physiciens analysèrent la lumière diffusée par des plaques dont la surface était, soit dépolie, soit recouverte de substances variées et obtinrent les résultats suivants : Lorsque la plaque est normale aux rayons incidents, la proportion de lumière polarisée est maximum pour les rayons diffusés très obliquement ; elle décroît très rapidement lorsque l'observateur s'approche de la normale et devient, en général, insensible au-dessous de 40° .

La proportion de lumière polarisée varie beaucoup suivant la substance. A 85° de la normale, elle est égale à :

- 0,22 pour du platine platiné ;
- 0,47 pour du verre noir dépoli ;
- 0,76 pour du noir de fumée.

Eclairées sous une incidence de 30° , ces trois substances produisent une polarisation assez forte dans la direction de réflexion régulière, tandis que le chromate de plomb, le cinabre et le soufre ne donnent pas de polarisation sensible.

Sous une incidence de 70° , tous ces corps polarisent la lumière dans la direction de réflexion régulière, suivant la proportion de :

- 0,25 pour le noir de fumée ;
- 0,44 pour le chromate de plomb ;
- 0,45 pour la céruse ;

(1) LAPROVOSTAYE ET DESAINS, *Annales de chimie et de physique*, 34, troisième série, 1852, p. 215.

0,50 pour le soufre ;
0,52 pour le cinabre ;
0,61 pour le platine platiné ;
0,64 pour le verre noir dépoli.

Sous l'incidence rasante, la polarisation de ces substances est nulle.

On pourrait trouver, pour tous les corps, un angle sous lequel la polarisation est maximum.

Toutes les surfaces complètement dépolies polarisent la lumière dans le plan qui passe par la source. La porcelaine polarise parfois normalement à ce plan, sous de fortes incidences.

Wright, en 1900 ⁽¹⁾, a étudié la diffusion de la lumière par des poudres comprimées ; il a observé que, sauf sous une forte incidence, ses plaques ne polarisaient pas la lumière et la dépolarisaient même complètement.

Umow, en 1903 ⁽²⁾, a utilisé des substances colorées telles que des poudres colorantes, des papiers imprégnés de leurs dissolutions, etc. Pour tous ces corps, la polarisation de la lumière diffusée est la plus intense pour les couleurs les plus absorbées et inversement.

Salet, en 1910 ⁽³⁾, a examiné la polarisation par diffusion dans la direction des rayons incidents ; il a trouvé celle-ci nulle pour le grès, sensible, mais très faible, pour des plaques de grès fondu éclairées très obliquement.

Verdet, en 1860 ⁽⁴⁾, a donné la théorie suivante de la polarisation par diffusion :

Pour les corps à surface non compacte : noir de fumée, platine platiné, le seul effet est celui de la diffusion pouvant être considérée comme une réflexion à la surface de granules convexes.

Quand les grains sont transparents, on reçoit, non seulement les rayons qui se sont réfléchis une fois à la surface, mais encore ceux qui se sont réfléchis plusieurs fois dans des plans différents, principalement dans l'intérieur du corps.

« Si la lumière incidente est naturelle, la lumière diffusée se composera de rayons polarisés dans tous les plans, sans aucune régularité, et sera de la lumière naturelle.

Si la lumière incidente est polarisée, toutes ces réflexions tendent à changer le plan de polarisation d'un très grand nombre de manières différentes et la lumière diffusée sera encore plus ou moins dépolarisée. »

Woronkoff et Pokrowski, en 1924 ⁽⁵⁾, ont cherché à vérifier cette théorie. Ils

(1) WRIGHT, *Annalen der Physik*, Folge 4, t. 1, 1900, p. 17.

(2) UMOW, *Physikalische Zeitschrift*, t. 6, 1905, p. 674.

(3) SALET, *Thèse*, 1910, p. 58.

(4) VERDET, *Optique physique*, t. 2. p. 488.

(5) WORONKOFF et POKROWSKI, *Zeitschrift für Physik*, 1924, 12 décembre, fasc. 30, deuxième cahier, p. 139.

admettent que le maximum de polarisation de la lumière diffusée par la surface des corps a lieu pour un angle φ donné par la loi de Brewster : $\operatorname{tg} \varphi = n$. La lumière venant de l'intérieur du corps peut être considérée comme non polarisée ; elle doit être en proportion plus grande pour les faibles incidences, ce qui doit avoir pour effet, non seulement d'affaiblir la polarisation, mais aussi de déplacer son maximum vers les grands angles.

Les auteurs ont vérifié ces conclusions expérimentalement et ont trouvé, en particulier pour des papiers colorés, que le maximum de polarisation était plus faible et l'angle correspondant plus élevé pour les radiations les moins absorbées.

Minéraux. — Comme l'indique le chapitre I, divers minéraux ont été étudiés en vue de leur comparaison avec le sol lunaire.

En 1890, Landerer ⁽¹⁾ examina un grand nombre de roches volcaniques *polies*, pour déterminer leur angle de polarisation maximum et le comparer à celui qu'il avait trouvé sur la Lune.

Il obtint des valeurs qui s'échelonnent entre $30^{\circ}51'$ et $33^{\circ}46'$; en particulier pour l'une de ces roches, le vitrophyre, l'angle de polarisation maximum était de $33^{\circ}18'$; supérieur de $1'$ seulement à la moyenne de ceux qu'il avait obtenus sur les mers lunaires. L'auteur crut pouvoir en conclure que les mers de la Lune doivent être constituées, en majeure partie, par cette roche.

En 1922, Salet ⁽²⁾ étudia diverses roches ; en particulier des marbres présentant différents degrés de poli. Il prouva ainsi que l'angle de polarisation maximum varie avec l'état de la surface et se rapproche de l'incidence principale lorsqu'on augmente son poli. La connaissance de cette quantité ne peut donc suffire pour déterminer la nature d'un minéral.

Un travail plus étendu fut publié, en 1926, par Barabascheff ⁽³⁾. Cet auteur étudia, d'abord, des verres dépolis à grains de plus en plus fins et constata que, plus le grain est grossier, plus l'effet de polarisation est petit et plus le maximum est effacé.

Sur du sel gemme dépoli, il obtint, au contraire, des polarisations plus fortes lorsque le dépoli était grossier.

Des poudres de carborundum de diverses grosseurs lui donnèrent des polarisations ^{qui} croissaient avec la grosseur des grains.

Les courbes, construites avec les chiffres qu'il a obtenus sur des laves et des basaltes, ont un maximum aigu compris entre 45 p. 100 et 88 p. 100. Pour des porphyres et des granits, le maximum est plus effacé et varie de 61 p. 100 à 81 p. 100.

⁽¹⁾ LANDERER, Sur l'angle de polarisation des roches ignées, *C. R.*, t. 111, 1890. p. 210.

⁽²⁾ SALET, *L'Astronomie*, 1922, p. 406.

⁽³⁾ BARABASCHEFF, *Astronomische Nachrichten*, t. 229, N. 5473, p. 7, 4 septembre 1926.

Les sables lui donnèrent des polarisations très variées dont les plus faibles sont relatives à des sables blancs. Des sables argileux, présentant un albédo voisin de celui des régions claires de la Lune, accusèrent un maximum de polarisation de l'ordre de 15 p. 100. D'après l'auteur, leur présence sur ces régions serait probable.

Le minéral dont la propriété ressemblerait le plus à celles des mers lunaires serait une lave poreuse dont le maximum de polarisation correspond à un angle de vision de 100° environ et atteint 45 p. 100.

POLARISATION PAR LES MILIEUX TROUBLES

Arago ⁽¹⁾, en 1820 et 1822, a observé, sur des halos solaires de 22° , une polarisation par réfraction faible, mais sensible.

Ses observations sur les nuages lui ont permis de conclure que leur lumière ne doit pas être polarisée, mais que, pour l'étudier correctement, l'observateur doit être presque en contact avec les nuages ⁽²⁾. « M. Barral, dans ses ascensions avec M. Bixio, a étudié attentivement les nuages et n'a trouvé aucune polarisation, ni par transmission, ni par réflexion. »

En 1868, Tyndall ⁽³⁾ a étudié la polarisation par des nuages artificiels.

Il a trouvé sur des nuages bleus, très ténus, produits par la lumière solaire dans une vapeur (nitrite d'amyle), une forte polarisation dans un plan passant par la source lumineuse, maximum à 90° des rayons ; si le nuage blanchit, la polarisation diminue plus vite pour les rayons bleus que pour les rayons rouges.

Sur des poussières plus grosses, on observe des points neutres.

Les fumées de chlorure d'ammonium donnent, en s'épaississant, un maximum qui se déplace dans la direction des rayons incidents : « Un nuage aqueux renverse la polarisation. »

En 1888, Soret ⁽⁴⁾ constata que la polarisation de la vapeur d'eau condensée est « négative », « perpendiculaire au plan de vision », quand l'angle de vision est voisin de 90° . Elle s'inverse quand l'observateur est à 70° de la source, devient très forte à 45° , puis diminue. « Ces chiffres, dit-il, dépendent de l'abondance des vésicules, de leur grosseur et de quelques autres circonstances. »

Avec un jet d'eau pulvérisé contre un solide, il trouva la polarisation positive et maximum aux deux arcs-en-ciel à peine colorés et un point neutre à 100° .

« Les nuages, dit-il, sont trop opaques pour qu'on puisse les assimiler aux expériences de laboratoire. » Sur une mer de nuages vue du haut d'un sommet, il trouva une polarisation qui était nulle au point anti-solaire, puis positive assez

⁽¹⁾ ARAGO, *Ouvres*, t. 10, p. 562.

⁽²⁾ ARAGO, *Ouvres*, t. 19, p. 282.

⁽³⁾ TYNDALL, *Proceedings of the Royal Society*, 17, 1868, p. 92 à 232.

⁽⁴⁾ SORET, *Annales de physique et chimie*, 14, 1888, p. 503.

forte, qui s'inversait vers trois degrés, redevenait ensuite positive après un point neutre situé entre 12 et 20 degrés suivant la direction considérée, atteignait un maximum vers 40° (arc-en-ciel blanc) et s'inversait enfin vers 90°, pour atteindre un minimum négatif vers 135°.

En 1908, Mie ⁽¹⁾ calcula la proportion de lumière polarisée, diffusée dans les diverses directions par des colloïdes dont les grains étaient assimilés à des sphères semi-conductrices. Pour des grains d'or, il trouva que, au-dessous de 100 m μ , la lumière diffusée à 90° est presque entièrement polarisée dans le plan passant par la source ; si la particule grossit, la lumière naturelle augmente rapidement vers la direction de propagation, tandis que la lumière diffusée vers la source acquiert une polarisation de sens inverse.

En 1924, Shoulejkin ⁽²⁾ calcula, par la méthode de Mie, la lumière diffusée dans toutes les directions par des sphères d'indice relatif 1,32, dans trois cas :

1° Diamètre très petit devant la longueur d'onde ;

2° Diamètre égal à $\frac{\lambda}{\pi}$;

3° Diamètre égal à $\frac{3\lambda}{\pi}$.

Dans le premier cas, le plan de polarisation passe toujours par la source. A 90° de celle-ci, la lumière diffusée est minimum ; sa polarisation est maximum et totale.

Dans le second cas, le plan de polarisation passe toujours par la source ; la lumière diffusée est plus faible dans la direction de celle-ci, plus intense dans la direction opposée. Le maximum de polarisation, un peu moins intense que dans le cas précédent, est légèrement déplacé à l'opposé de la source.

Le troisième cas est très différent ; presque toute la lumière est diffusée à l'opposé de la source, dans un cône de 60° de rayon. La lumière diffusée vers la source est polarisée dans un plan passant par celle-ci ; la proportion est faible et ne dépasse pas 50 millièmes ; elle s'inverse pour un angle de vision de 35°, atteint un minimum négatif de 750 millièmes pour un angle de 100° et s'annule à l'opposé de la source lumineuse.

Le cas d'une sphère très grosse est étudié, mais sans tenir compte des rayons réfléchis plusieurs fois à l'intérieur.

ETAT ACTUEL DE LA QUESTION

Les travaux qui sont résumés dans ce chapitre montrent que les substances que nous avons, en général, sous les yeux donnent naissance à des polarisations

⁽¹⁾ MIE, *Annalen der Physik*, 1908, vol. 25, p. 377.

⁽²⁾ W. SHOULEJKIN, *Philosophical Magazine*, 48, 1924, p. 307 à 320.

très diverses. Nous allons voir que, malgré tout l'intérêt qu'ils présentent, ils ne sont souvent, ni assez complets, ni assez précis pour permettre d'expliquer les résultats obtenus sur les planètes.

En effet, les mesures effectuées sur les solides ont montré l'influence de leur degré de poli et de leur pouvoir absorbant sur leur polarisation, au voisinage du maximum. Par contre, elles n'ont pas porté sur la lumière diffusée dans les directions voisines de la source. Aucune inversion analogue à celles que présentent la Lune et Mars n'a été signalée.

Les mesures faites sur les minéraux ont été effectuées, en général, sur des roches polarisant la lumière plus fortement que ne le font les planètes, aucune des courbes obtenues n'est comparable à celle des planètes et, enfin, la précision des résultats ne dépasse pas 1 p. 100, ce qui est insuffisant.

Les observations de gouttelettes, en particulier celles de Soret, mettent bien en évidence l'influence capitale de la grosseur des gouttes, conséquence de la diffraction. Elles montrent l'existence de points d'inversion analogues à ceux de Vénus; mais les résultats obtenus diffèrent encore beaucoup trop de ceux que cette planète a donnés, pour qu'il soit possible de conclure.

Soret a remarqué que les résultats dépendent, en partie, de l'épaisseur du nuage; mais cette influence demande à être précisée.

Pour expliquer la forme de la courbe de polarisation de Vénus, il faudrait une étude plus complète, portant sur des exemples très variés.

Dans ces conditions, il m'a semblé nécessaire de faire, sur des substances diverses, des mesures ayant une précision égale à celle des observations astronomiques et en nombre suffisant pour permettre de construire une courbe complète, dans chacun des cas étudiés.

Il fallait choisir parmi des substances en nombre considérable, pouvant être étudiées dans les états physiques les plus variés : poudres à divers degrés de finesse, solides à divers degrés de poli, etc.

Espérant recueillir quelques renseignements généraux destinés à guider ces recherches, j'ai d'abord étudié des poudres de verre ou de sels métalliques, choisies de manière à mettre en évidence l'influence de l'indice des grains, de leur forme et, s'il y a lieu, de leur absorption ou de leur biréfringence.

Mes mesures ont porté, ensuite, sur des minéraux naturels, soit taillés sous forme d'échantillons présentant une cassure rugueuse, soit pulvérisés, en orientant le choix, de préférence vers ceux qui paraissaient donner des polarisations analogues à celles de la Lune et de Mars. J'ai examiné également des milieux troubles, limités à des nuages de gouttelettes d'eau et à quelques brouillards de glace qui sont les plus fréquents dans la nature.

CHAPITRE V

DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX

DISPOSITIF GÉNÉRAL

Construction. — Le dispositif utilisé pour la plupart de mes mesures est le suivant :

La substance S (fig. 26) est placée au centre d'un goniomètre dont l'un des bras porte la source lumineuse, l'autre le polarimètre.

La source est une lampe demi-watt A, de 6 volts, 100 bougies ; deux lentilles de 40 mm. de foyer chacune, B et C, projettent une image très agrandie de son filament sur la substance, par l'intermédiaire d'un prisme à réflexion totale D. Ce prisme est suivi d'une double lame cristalline E, étudiée de manière à supprimer la faible polarisation de la lampe et celle qu'introduisent les lentilles. (Cette lame sera décrite un peu plus loin.) Un diaphragme circulaire F, de 12 millimètres de diamètre, limite l'ouverture de la source.

Le polarimètre est muni d'une lentille biconvexe G, de 18 centimètres de foyer, qui forme l'image de la partie la plus éclairée de la substance sur un œilleton H, de 2 millimètres de diamètre, placé contre la bonnette polariscope (les verres de l'oculaire ont été enlevés). Le foyer antérieur de la lentille G est occupé par un diaphragme I, de 3^{mm},5 de diamètre. Ce diaphragme est destiné à limiter le champ à une portion voisine de l'axe sous-tendant un diamètre apparent d'environ 70 minutes. Il facilite, en même temps, la vision des franges qui se forment à son intérieur, dans le même plan que lui.

La source est placée à 45 centimètres de la surface étudiée ; vue de celle-ci, elle sous-tend un diamètre apparent de 1°30'. Le diaphragme du polarimètre sous-tend un diamètre de 0°25'. Leur distance angulaire, ou angle de vision, est donnée par l'index J, mobile sur le cercle K. Elle peut descendre jusqu'à 1°30'. Audessous de cette valeur, les plans de vision relatifs aux divers points de la source sont très différents, ce qui donnerait une polarisation résultante notablement plus faible que si la source était ponctuelle.

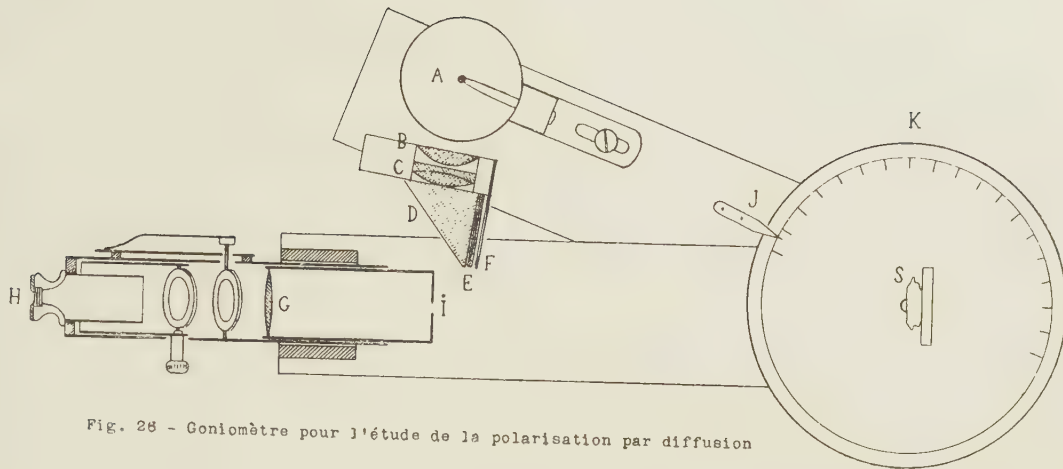


Fig. 26 - Goniomètre pour l'étude de la polarisation par diffusion

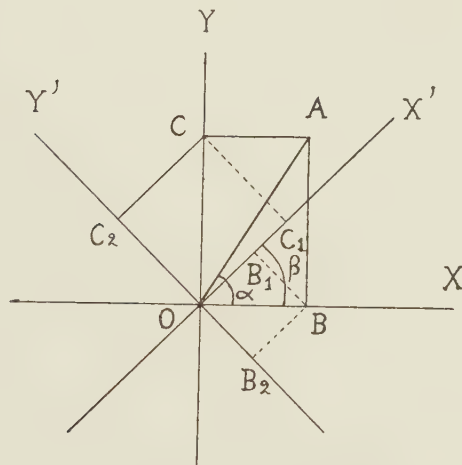


Fig. 27 - Double lame dépolarisante

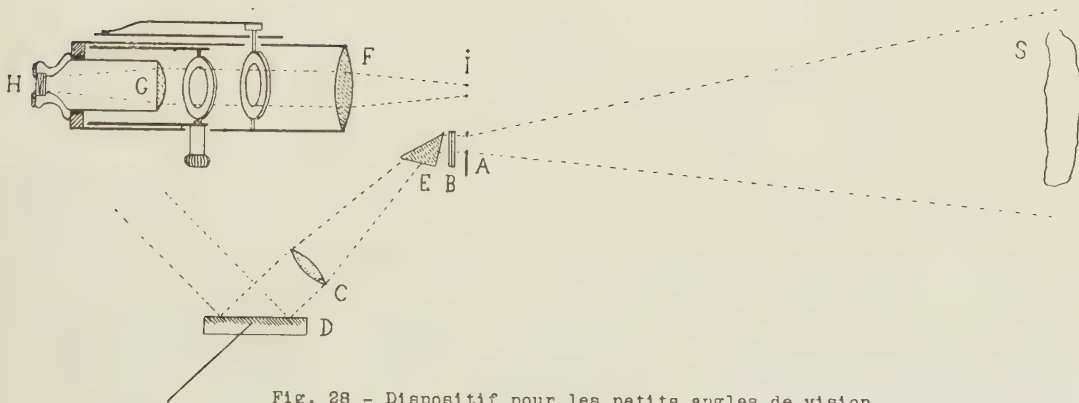


Fig. 28 - Dispositif pour les petits angles de vision

Double lame dépolarisante. — Cette lame est constituée par deux lames de quartz taillées parallèlement à l'axe optique (à défaut de quartz, j'ai utilisé deux lames de gypse clivé). Leurs épaisseurs sont dans le rapport de 2 à 1 et elles sont collées au baume de Canada de manière que leurs axes optiques fassent entre eux des angles de 45° .

Cet ensemble se comporte de la manière suivante :

Faisons tomber sur lui une lumière polarisée rectiligne. Soient (fig. 27) :

OX, OY et OX', OY', les axes des deux lames ;

β l'angle que font OX' et OX ;

α l'angle de la vibration rectiligne incidente OA et de OX.

Il sort de la seconde lame quatre vibrations confondues OB₁, OB₂, OC₁, OC₂.

Soient n et n' les indices principaux des lames, e et e' leurs épaisseurs. Les quatre vibrations ont subi des retards respectifs :

$$ne + ne' \quad ne + n'e' \quad n'e + ne' \quad n'e + n'e'.$$

Dans le cas où $e' = 2e$, les retards des trois dernières par rapport à la première sont :

$$2(n' - n)e \quad (n' - n)e \quad 3(n' - n)e.$$

Si $(n' - n)e$ est assez grand (plus d'une dizaine de longueurs d'onde), ces vibrations ne donnent, en lumière blanche, aucune interférence observable.

Leurs intensités s'ajoutent.

Il sort donc deux faisceaux, polarisés respectivement suivant OX' et OY', dont les intensités sont :

$$OB_1^2 + OC_1^2$$

d'une part ;

$$OB_2^2 + OC_2^2$$

d'autre part.

Or, on a :

$$OB_1 = OA \cos \alpha \cos \beta \quad OC_1 = OA \sin \alpha \sin \beta$$

$$OB_2 = OA \cos \alpha \sin \beta \quad OC_2 = OA \sin \alpha \cos \beta$$

d'autre part :

$$\cos \alpha = \sin \beta = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

d'où :

$$OB_1^2 + OC_1^2 = \frac{OA^2}{2} \quad \text{et} \quad OB_2^2 + OC_2^2 = \frac{OA^2}{2}.$$

Leur ensemble est équivalent à de la lumière naturelle d'intensité OA, égale à celle de la lumière incidente.

Lorsqu'on examine une source de lumière très fortement polarisée, avec un

polariscope de Savart, à travers cette double lame, on ne voit pas de franges au centre du champ ; mais il apparaît, de chaque côté, d'autres systèmes de franges dans les directions pour lesquelles la biréfringence des lames de Savart compense, à quelques longueurs d'onde près, les différences de marche introduites par la double lame.

Comme les mesures sont effectuées au centre du champ, ces systèmes de franges n'interviennent pas et la lumière se comporte comme si elle était parfaitement naturelle.

Disposition de la substance. — Pour étudier un minéral, il suffit de pratiquer dans celui-ci une cassure grossièrement plane et de le fixer, au moyen de cire molle, à un support placé au centre du goniomètre, de manière que la cassure soit parallèle à l'axe de celui-ci.

Lorsque le solide est très hétérogène, on le taille grossièrement sous la forme d'une sphère de 6 millimètres de diamètre portée par un fil de fer très fin. Un petit moteur électrique le fait tourner autour d'un axe confondu avec celui du goniomètre. On obtient ainsi la polarisation moyenne des divers constituants du minéral.

Pour étudier une poudre, on rend l'axe du goniomètre horizontal et on place la poudre sur une tablette parallèle à cet axe.

Pour examiner un jet de vapeur ténue, par exemple, il suffit de placer celui-ci au centre du goniomètre.

ETUDE DE LA LUMIÈRE DIFFUSÉE TRÈS PRÈS DE LA SOURCE

Mes observations astronomiques, en particulier celles effectuées sur l'anneau intérieur de Saturne, montrent que les rayons diffusés par certaines substances, à 12 minutes seulement de la source lumineuse, sont encore sensiblement polarisés.

L'appareil décrit ci-dessus ne permet pas d'effectuer des mesures au-dessous de 1°30'.

Pour atteindre des angles aussi petits que possible, il fallait réduire le diamètre apparent de l'ouverture du polarimètre et celui de la source, augmenter beaucoup la brillance de celle-ci, ainsi que la distance et les dimensions de la substance étudiée.

J'ai donc réalisé le dispositif suivant :

La substance étudiée S (fig. 28) est disposée sous forme d'une plaque de 15 à 20 centimètres de côté, au fond d'une pièce très obscure ; elle est éclairée par un diaphragme A, de 2 millimètres de diamètre, précédé d'une double lame cristalline B destinée à dépolariser la lumière, analogue à celle qui est décrite page 102.

Une lentille G de 80 centimètres de foyer, précédée d'un sidérostат polaire D, forme, sur le diaphragme A, une image du centre du Soleil à travers un très petit prisme à réflexion totale E.

Le polarimètre a pour objectif une lentille F de 6 centimètres de foyer et pour oculaire une lentille semblable G ; l'ensemble donne, à l'infini, une image de la substance S en vraie grandeur.

La bonnette-polariscope est munie d'un diaphragme H, de 2 millimètres de diamètre, dont une image réelle I est formée, en vraie grandeur, par l'ensemble des lentilles, à l'extérieur du polarimètre.

Le polarimètre est porté par un support à hauteur variable qui permet de le pointer sur la substance et d'amener l'image I de son diaphragme à 4 millimètres du diaphragme A de la source.

L'angle de vision peut ainsi descendre à $2'48''$. Pour le faire varier, il suffit de déplacer le polarimètre et son support. Il est facile de le calculer, en mesurant directement la distance du diaphragme de la source à l'image de celui du polarimètre.

CHAPITRE VI

RÉSULTATS OBTENUS SUR LES SUBSTANCES TERRESTRES

Poudres transparentes homogènes.

J'ai d'abord étudié des poudres de verre et de sels métalliques divers étendues sur une planchette, en couche épaisse, par saupoudrage.

Les polarisations trouvées se sont montrées dépendre très peu de l'orientation de la surface de la poudre, tant que celle-ci ne formait pas un angle très petit, soit avec les rayons incidents, soit avec les rayons diffusés vers le polarimètre.

Pour ce motif, les mesures qui ont servi à construire les courbes ont été prises en orientant la surface de la poudre, à peu près normalement à la bissectrice de l'angle formé par les directions de la source et du polarimètre.

Influence de l'indice. — La figure 29 montre les courbes obtenues sur les cristaux pulvérisés de :

Nitrate de sodium (indices 1,585 et 1,33) ;

Chlorure de sodium (indice 1,544) ;

Chlorure d'ammonium (indice 1,64) ;

Chlorure de baryum (indices 1,63, 1,64 et 1,66) ;

Nitrate de plomb (indice 1,78).

Pour ces substances, la polarisation est très faible ou même insensible entre 0 et 20 degrés, elle passe par un maximum vers 150°.

Ces courbes, et quelques-unes des suivantes, ont leurs points fortement dispersés lorsque l'angle de vision dépasse une centaine de degrés.

Ce fait est dû à ce que la poudre ou le minéral étudié présente, quelquefois, des facettes dont l'une peut se trouver orientée de manière à réfléchir une partie appréciable des rayons incidents, dans la direction du polarimètre, après l'avoir fortement polarisée,

E - Nitrate de plomb
indice : 1,78

D - Chlorure de baryum
indices : 1,63 1,64 1,66

C - Chlorure d'ammonium
indice : 1,64

B - Chlorure de sodium
indices : 1,53 1,54

A - Nitrate de sodium
indices : 1,53 1,53

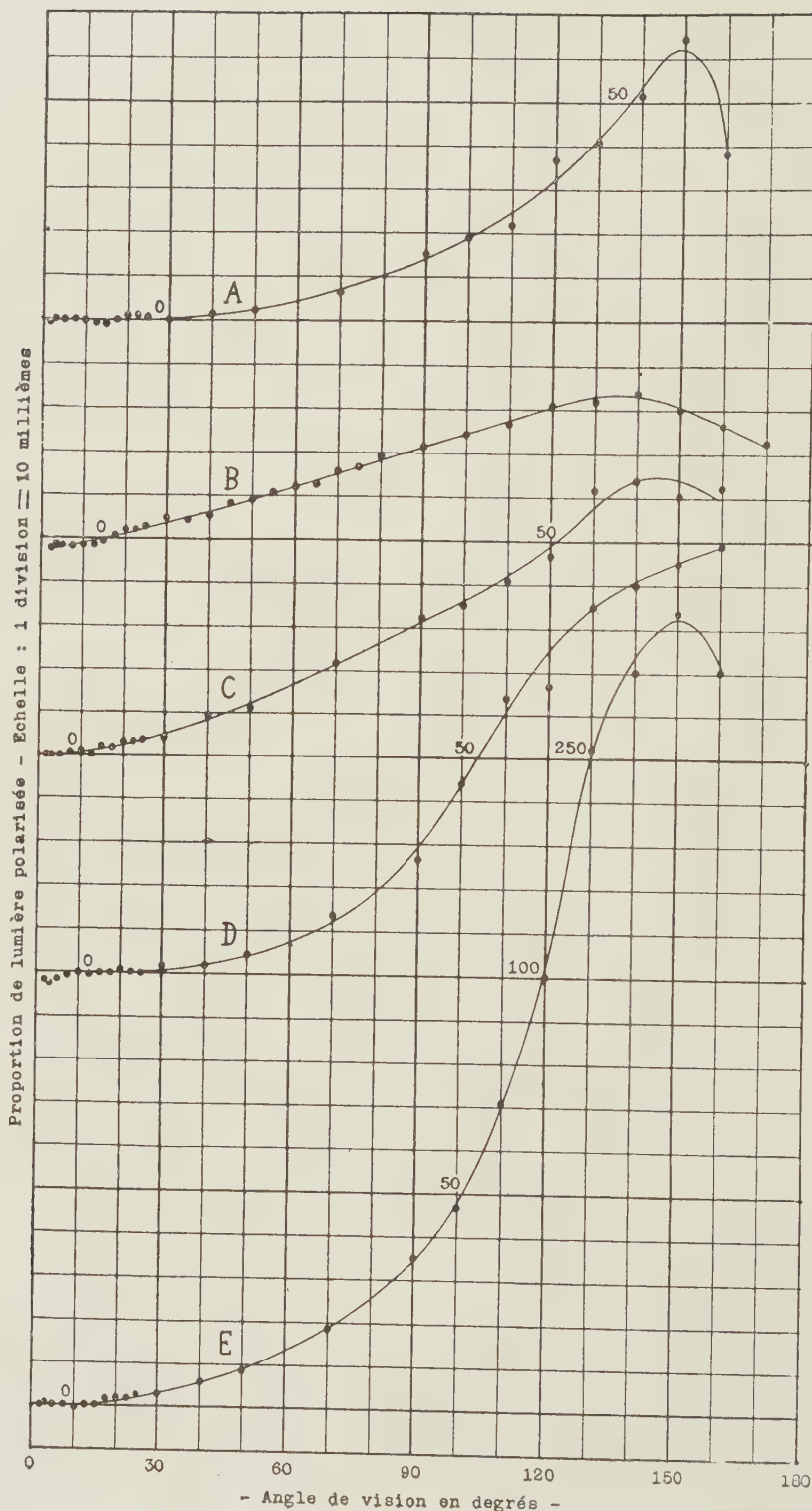


Fig. 29 - Cristaux pulvérisés

Indices 1,49
1,66

A - Cinabre éclairé en lumière bleue
B - Cinabre éclairé en lumière rouge

Proportion de lumière polarisée, en millièmes

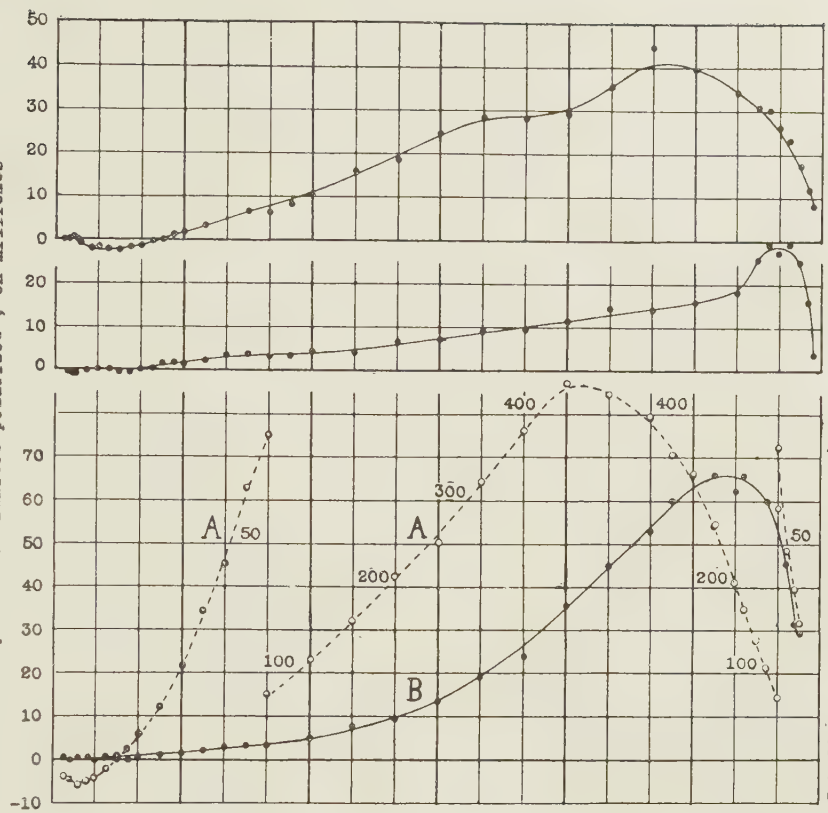


Fig. 30

Proportion de lumière polarisée, en millièmes

A - Cinabre pulvérisé
B - Cinabre pulvérisé

Echelle : 1 division = 50 millièmes

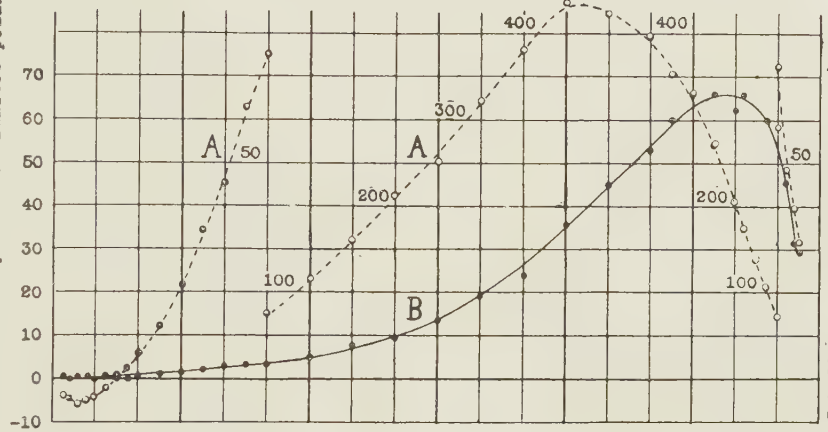


Fig. 31

Fig. 32 - Cinabre pulvérisé Crâne précipité - Spath pulvérisé

Proportion de lumière polarisée, en millièmes

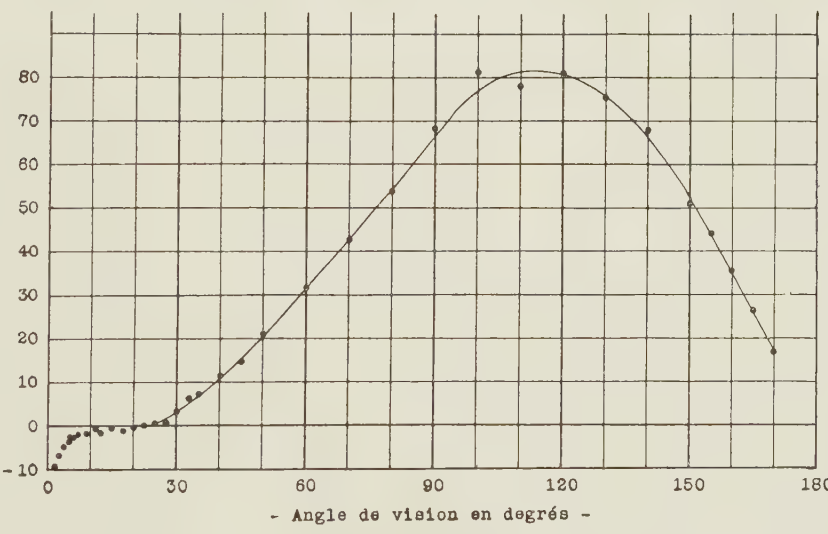
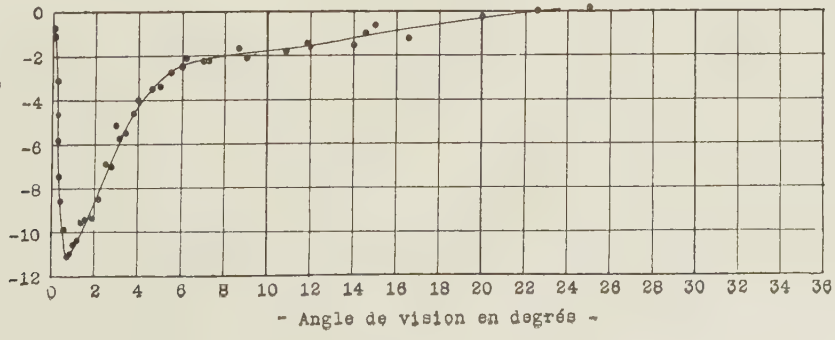


Fig. 33 - Dépôt de magnésie



La polarisation de l'ensemble de la lumière étudiée peut se trouver altérée si cette facette n'a pas une surface négligeable par rapport à celle dont les rayons parviennent à l'œil de l'observateur.

Les figures 30 et 31 sont relatives à du spath pulvérisé et à de la craie précipitée ⁽¹⁾ d'indices 1,49 et 1,66. Les formes de ces sept premières courbes, en particulier l'abscisse du maximum et la proportion de lumière polarisée correspondante, ne paraissent pas dépendre des indices, comme on le constaterait pour des corps polis.

En éclairant ces poudres normalement avec de la lumière totalement polarisée, elles diffusent, dans la direction de la source, une lumière partiellement polarisée. La proportion de lumière polarisée résiduelle dépend nettement de la biréfringence des grains ; elle est très faible lorsque les indices sont très différents ; on s'en rendra compte en consultant le tableau 15, page 126. Les valeurs les plus faibles (18 et 22 millièmes) ont été trouvées sur la poudre de nitrate de sodium et sur la craie précipitée dont les grains, examinés au microscope en lumière polarisée, présentaient les couleurs rouge et verte.

La grosseur des grains doit nécessairement jouer un rôle ; pour une même différence des indices, la polarisation résiduelle doit être d'autant plus faible que les grains sont plus gros.

Influence de la forme des grains. — La forme des courbes de polarisation paraît dépendre plus de la forme des grains que de leurs indices, ainsi que l'on peut en juger en comparant les courbes du spath pulvérisé et de la craie précipitée (fig. 30 et 31).

L'influence de la forme des grains est manifeste sur la figure 34 relative à du verre d'indice 1,52. La courbe A a été relevée sur une poudre obtenue en broyant cette substance ; la courbe B correspond à cette poudre, préparée en fondant le verre sous forme de sphérules de 0^{mm},5 à 1 millimètre de diamètre ; la courbe C est relative à une de ces sphérules étudiée isolément.

La courbe du verre pilé possède une forme régulière et rappelle celle des cristaux pulvérisés ; elle accuse, cependant, des polarisations presque deux fois plus fortes que celle du chlorure de sodium pulvérisé, bien que les indices des deux substances soient très voisins. Celle des sphérules est, au contraire, très compliquée ; en plus du maximum habituel, situé vers 140°, elle présente plusieurs sinuosités accentuées et un maximum très aigu, à 20° de la source.

Ces anomalies s'expliquent aisément si l'on examine la courbe suivante, relevée sur une sphérule isolée :

(1) Cette poudre a été obtenue en précipitant à froid une solution étendue de chlorure de calcium par une solution de carbonate de sodium ; ses grains doivent donc être des rhomboédres de spath,

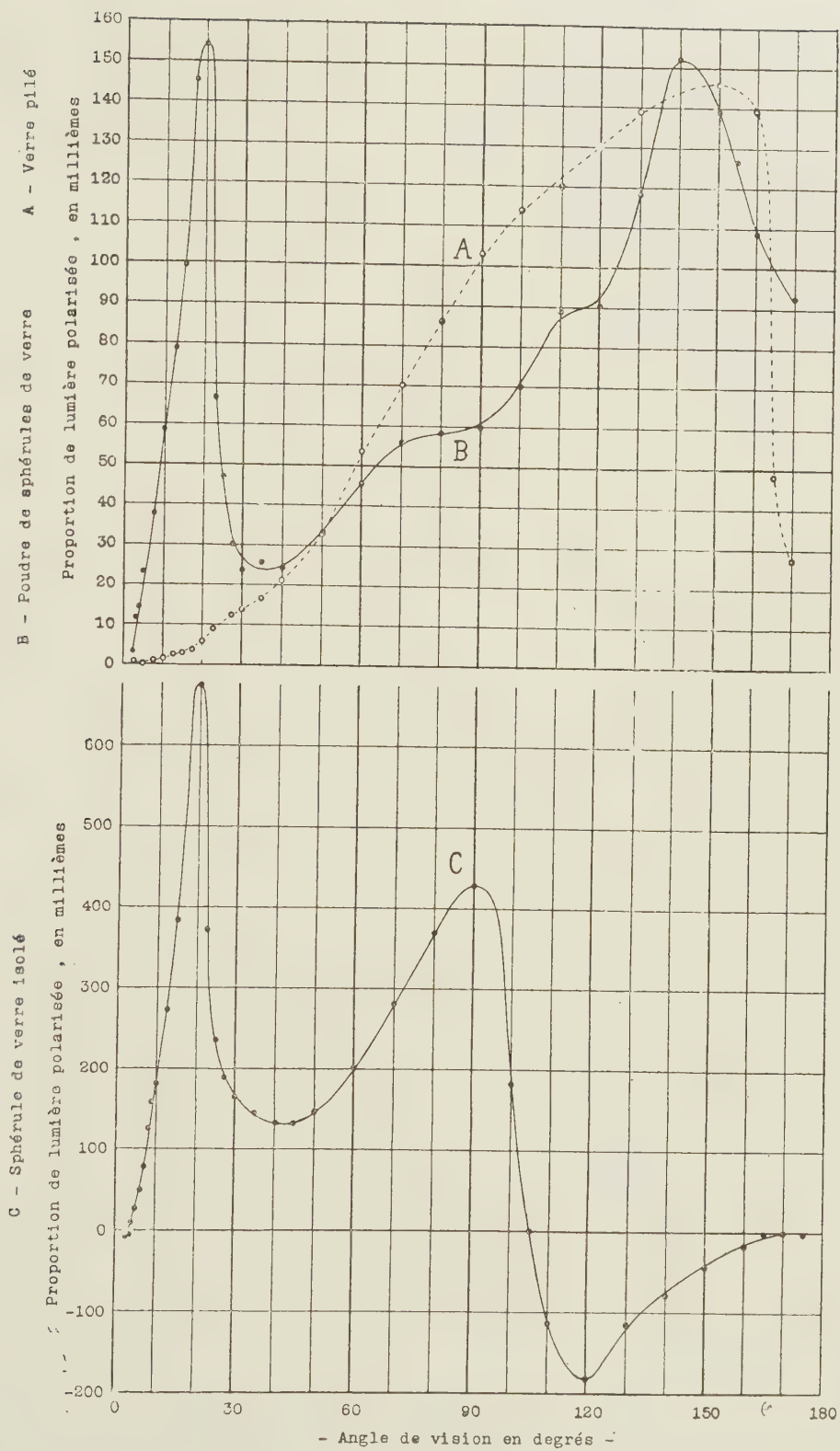


Fig. 34 - Polarisation donnée par des grains de verre (indice 1,52)

A 20° de la source, on retrouve le premier maximum ; il correspond à un arc-en-ciel produit par les rayons qui se sont réfléchis une fois, à l'intérieur de la goutte, et il coïncide avec un maximum intense de lumière diffusée.

Vers 40° , il n'y a plus que les rayons réfléchis à l'extérieur de la goutte ; la polarisation est minimum, puis augmente régulièrement avec l'incidence. Ce minimum s'observe également sur la poudre de sphérules.

Enfin, vers 95° , on pénètre dans le cône des rayons réfractés, polarisés négativement ; ceux-ci atteignent leur maximum de polarisation, ainsi qu'une intensité très élevée, vers 105° .

Pour le même angle, la courbe de la poudre de sphérules accuse seulement une légère chute. En effet, les rayons réfractés doivent nécessairement traverser ces grains dans leur partie inférieure ; ils peuvent rarement effectuer ce trajet sans rencontrer un autre grain.

Une autre courbe, assez curieuse, est fournie par de la magnésie obtenue en faisant brûler un ruban de magnésium sous une plaque de verre, jusqu'à ce que le dépôt soit entièrement opaque (fig. 33).

La polarisation est très forte pour les petits angles, elle devient sensible vers $5'$, atteint vers $40'$ un minimum négatif, puis s'inverse vers 25° . La forme de cette courbe paraît attribuable à la dimension des grains qui sont très petits et partiellement arrondis par la fusion ; elle varie avec l'épaisseur du dépôt.

Influence de l'absorption des grains. — On voit un exemple de cette influence sur les deux courbes de la figure 32, relevées sur du cinabre en poudre (indices pour le rouge 2,8 et 3,1). La courbe B a été obtenue avec un écran rouge laissant passer des rayons que cette poudre n'absorbe pas sensiblement ; la courbe A, avec un écran bleu à travers lequel elle paraissait tout à fait noire. Pour la partie centrale de A, l'échelle des ordonnées a été réduite au cinquième.

La première courbe est semblable à celle des autres sels métalliques transparents ; la polarisation est maximum pour 160° ; sous cet angle, elle s'élève à 68 millièmes. L'autre courbe atteint son maximum pour 125° ; la polarisation est alors de 420 millièmes, un peu plus de six fois plus forte.

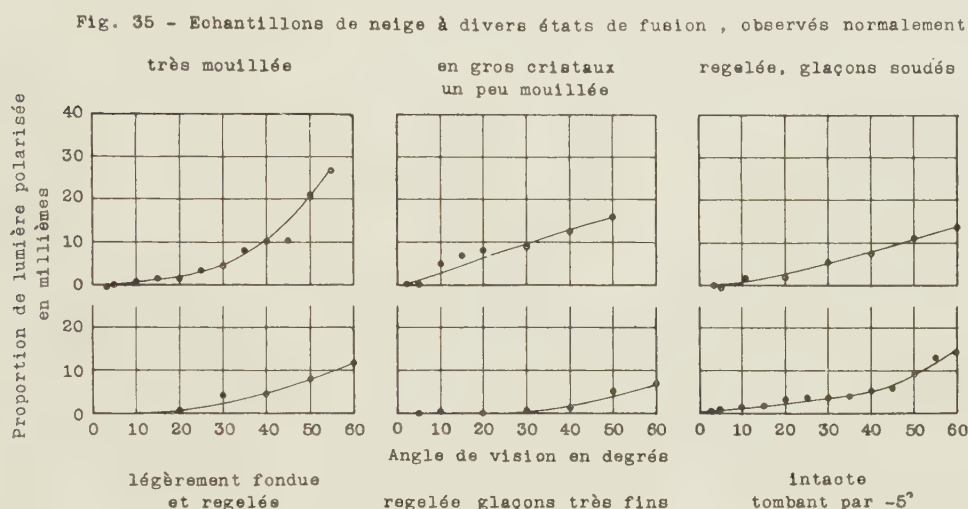
La lumière, provenant de l'intérieur de la poudre examinée à travers l'écran rouge, a donc une polarisation beaucoup plus faible que celle qui est réfléchie par la surface et qui existe seule avec l'écran bleu. Elle a pour effet de diminuer considérablement la polarisation de la lumière globale et de déplacer le maximum de polarisation vers les grands angles, comme l'ont d'ailleurs indiqué Woronkoff et Pokrowski.

D'autre part, la courbe en lumière bleue présente une branche négative, entre 0 et 15° degrés. Cette polarisation négative n'a jamais été signalée ; nous verrons, dans la suite, qu'elle constitue, cependant, un phénomène très général pour les solides qui absorbent la lumière.

Lorsqu'on éclaire cette poudre avec une lumière totalement polarisée, la polarisation résiduelle varie en sens inverse de l'absorption ; elle est de 55 millièmes en lumière rouge et de 598 millièmes en lumière bleue.

Neiges. — La neige étant la poudre cristalline la plus répandue dans la nature, j'ai effectué sur elle de nombreuses mesures de polarisation. Les mesures étaient faites la nuit, dans le parc de l'Observatoire de Meudon.

Les courbes obtenues sont semblables à celles des autres cristaux, mais leur forme varie avec l'état de fusion de la neige, comme le montrent les quelques



courbes de la figure 35. Les neiges fondantes donnent des polarisations d'autant plus fortes qu'elles contiennent plus d'eau. Les neiges partiellement fondues et regelées ont une polarisation très variable, souvent inférieure à celle des neiges fraîchement tombées.

La polarisation due à la diffusion de la lumière par les poudres homogènes apparaît comme un phénomène extrêmement complexe.

Elle varie en fonction de l'angle de vision suivant une loi qui dépend :

De l'indice moyen des grains ;

De la différence de leurs indices s'ils sont biréfringents ;

De leur pouvoir absorbant ;

De leurs dimensions qui influent à la fois sur leur biréfringence et sur leur absorption et régissent les phénomènes de diffraction ;

De leur forme, enfin.

La polarisation résiduelle des rayons diffusés vers la source, lorsque celle-ci est totalement polarisée, dépend également de toutes ces quantités ; elle varie

dans le même sens que l'indice et le pouvoir absorbant, en sens inverse de la biréfringence et de la grosseur des grains.

Pour étudier des minéraux naturels qui ne sont pas homogènes et dont nous connaissons la constitution encore plus mal que celle des poudres cristallines, il paraît tout à fait impossible de se fier à des considérations théoriques. C'est donc par voie purement expérimentale que nous serons contraints de chercher des roches ayant, au point de vue polarimétrique, les mêmes propriétés que celles des corps célestes.

Minéraux.

ROCHES SÉDIMENTAIRES

Craie. — La courbe A, figure 36, est obtenue avec un échantillon de craie ayant pour albédo 0,79 ⁽¹⁾, taillé grossièrement sous forme de sphère de 7 millimètres de diamètre, tournante (voir le dispositif décrit page 103).

Pour les petits angles, sa forme ressemble à celle du spath pulvérisé (fig. 30), mais avec une branche négative plus accusée. La polarisation, d'abord négative et très faible, atteint son minimum pour 15° environ et s'inverse pour 30°. Pour les grands angles, cette polarisation reste faible et la forme de la courbe rappelle celle de la craie précipitée (fig. 31).

Argiles. — De l'argile gris-vert du bassin de Paris, d'albédo 0,17, sous forme d'échantillon tournant, a donné la courbe B (fig. 36). Pour l'angle de 30° $\frac{1}{2}$, la polarisation est de — 6 millièmes et semble déjà voisine de son minimum ; elle croît et s'inverse pour 15°. Son maximum positif est atteint vers 120°.

Un échantillon tournant d'argile blanche, provenant de l'Yonne, albédo 0,57, donne la courbe C (fig. 36) caractérisée par une branche négative très faible et par un maximum positif très aigu, vers 150°.

Il est assez remarquable que cette argile ait donné des polarisations plus fortes que l'autre, bien que son albédo soit beaucoup plus élevé.

Les mesures faites sur les très petits angles indiquent que la polarisation atteint — 6 millièmes, pour un demi-degré.

(1) Cette quantité sera définie dans la suite comme la brillance du corps considéré, rapportée à celle d'un corps blanc parfaitement diffusant, les surfaces de ces deux corps étant éclairées normalement et examinées dans des directions voisines de la normale. J'ai mesuré cette quantité à quelques centièmes près en comparant, au photomètre, les substances étudiées à un écran blanc de magnésie.

D - Sable
 albédo 0,24
 C - Argile blanche
 albédo 0,58
 B - Argile grise
 albédo 0,17
 A - Craie
 albédo 0,79

Proportion de lumière polarisée - Echelle : 1 division = 10 millièmes

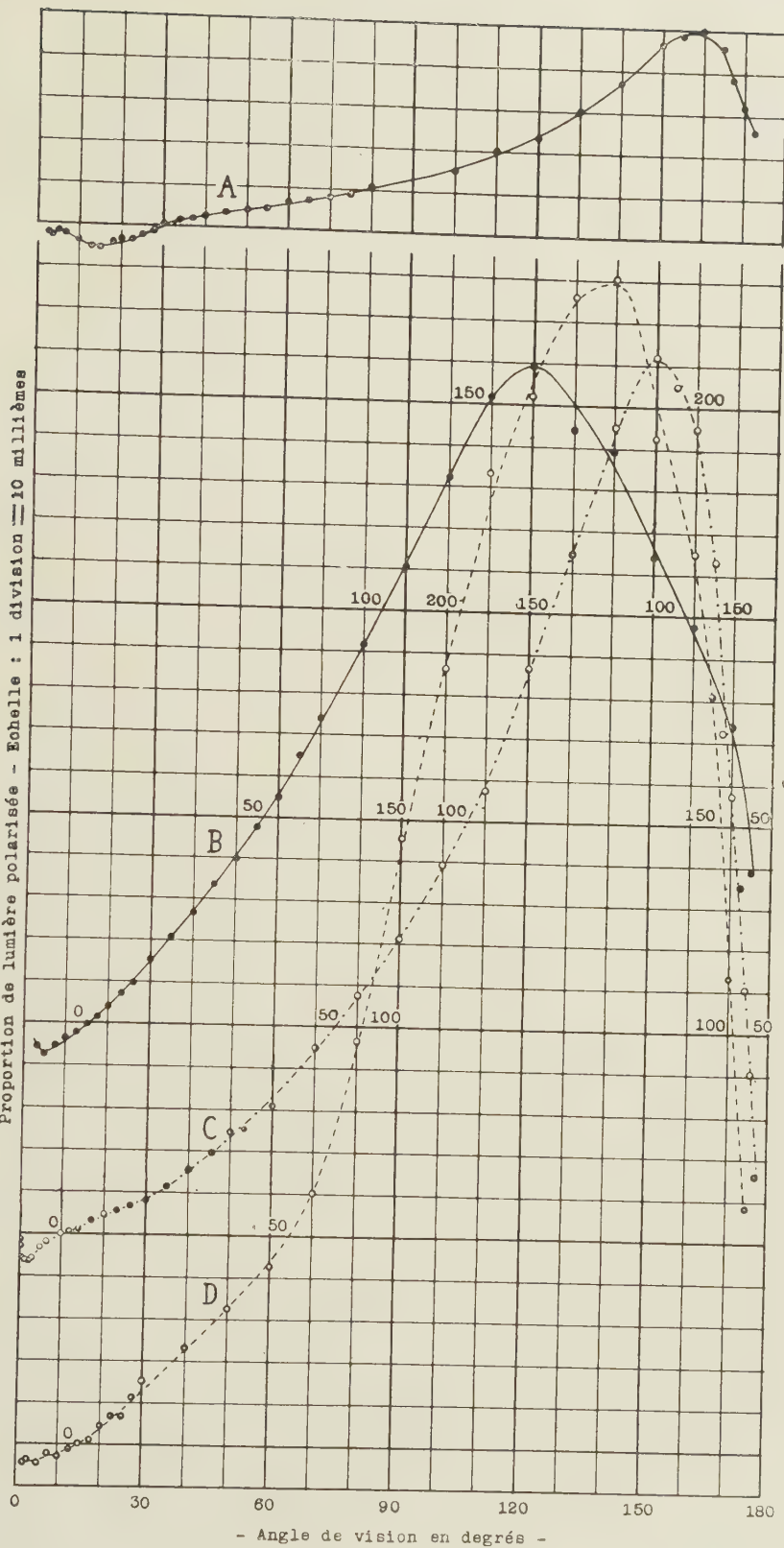


Fig. 38 - Roches sédimentaires
 { A, B et C : échantillons tournants
 D : échantillon observé symétriquement

A - Porphyre gris et rouge
albedo 0,12

B - Porphyre bleu-vert
albedo 0,10

C - Magnétite
albedo 0,25

D - Pyrite
albedo 0,15

E - Galène
albedo 0,11

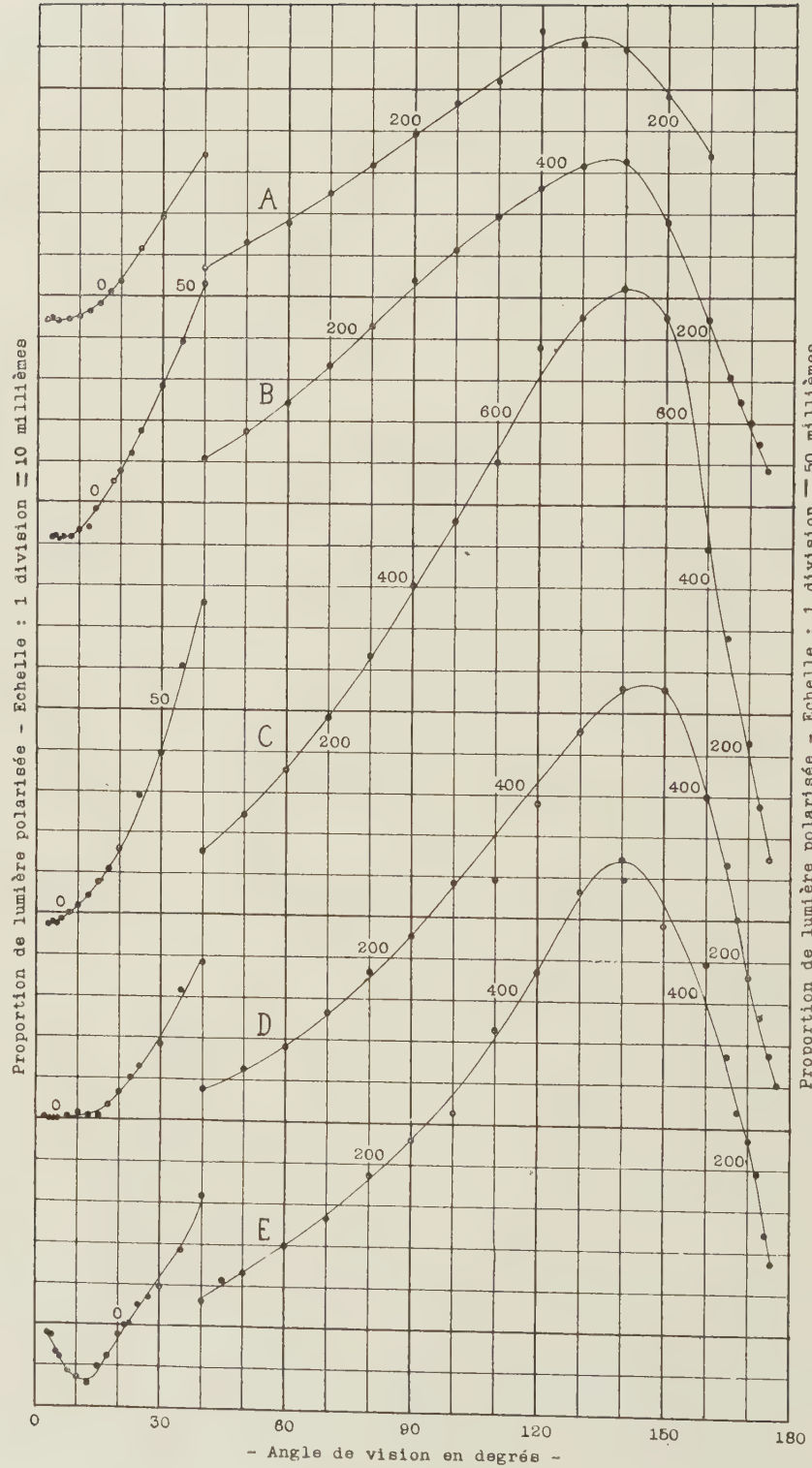


Fig. 38 - Minerais pulvérisés

Fig. 37 - Echantillons tournants de porphyre

D - Grès quartzeux albédo 0,34
 C - Grès rouge albédo 0,115
 B - Granit blanc et gris albédo 0,14
 A - Basalte albédo 0,08

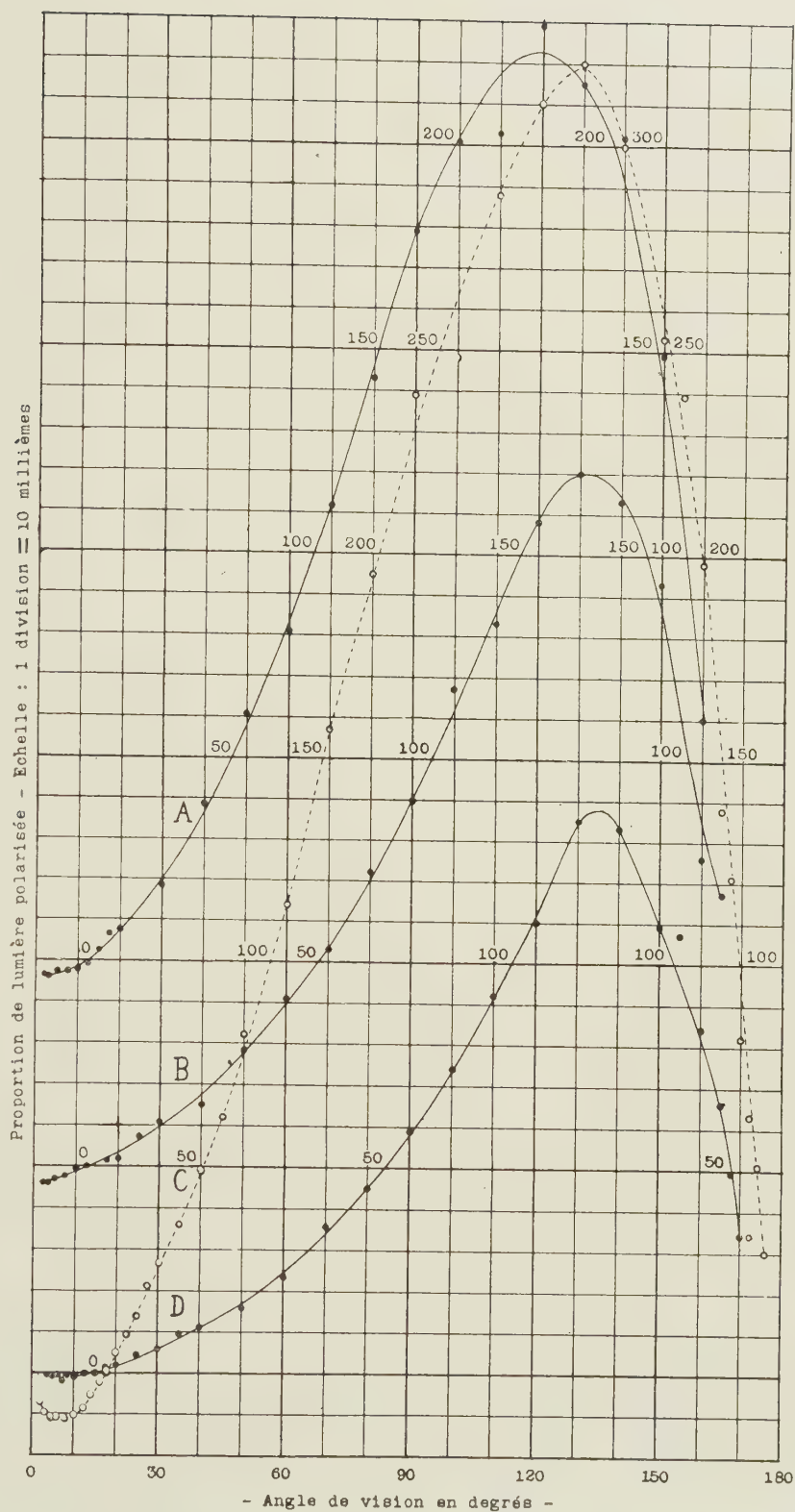


Fig. 39 - Roches ignées examinées sous forme d'échantillons tournants

Sables. — J'ai étudié également du sable marin recueilli sur une plage de Vendée (courbe D, fig. 36). Nous retrouvons toujours la même branche négative. La polarisation qui est nécessairement nulle dans la direction de la source, par raison de symétrie, semble atteindre très rapidement son minimum négatif.

ROCHES IGNÉES

Toutes ces courbes étant assez éloignées de celles de la Lune et de Mars, j'ai dirigé mes recherches surtout sur les roches ignées et principalement sur les roches éruptives dont l'existence paraît plus probable sur notre satellite.

Roches présentant la réflexion métallique. — La figure 38 donne les courbes C, D, E, obtenues sur trois minerais pulvérisés : de l'oxyde de fer magnétique, de la pyrite de fer et de la galène.

Elles ont, toutes trois, un maximum très élevé entre 140° et 145° .

La courbe de la pyrite est confondue avec l'axe des abscisses entre 0° et 12° .

Celle de l'oxyde de fer magnétique présente une très légère branche négative.

Celle de la galène offre, au contraire, une branche négative très importante.

Granits et porphyres. — Ces substances ont été étudiées sous forme d'échantillons tournants.

Les courbes A et B (fig. 37) sont relatives à un porphyre bleu-vert foncé, d'albêdo 0,10 et à un porphyre gris, à grains rouges, d'albêdo 0,13. La courbe B (fig. 39) correspond à un granit blanc, à grains gris, d'albêdo 0,14.

Nous remarquons, sur toutes trois, une faible branche négative dont le minimum semble être atteint pour un angle inférieur à 2 degrés.

Basalte. — Un échantillon tournant de basalte a donné les mêmes résultats (courbe A fig. 39).

Grès quartzeux. — Un échantillon tournant de grès formé de grains de quartz soudés, d'albêdo 0,34, a donné la courbe D, figure 39, qui présente une forme voisine de celle du kaolin (C, fig. 36), mais avec une polarisation négative presque insensible.

Cette courbe ressemble également beaucoup à celle des sels pulvérisés dont le minéral possède d'ailleurs la constitution. Son maximum a lieu pour un angle plus petit, sans doute parce que le pouvoir absorbant est plus important.

Grès rouge. — Sur un échantillon tournant de grès rouge, courbe C (fig. 39), les phénomènes sont très différents : forte polarisation négative, avec un minimum

très net vers 7° à 8° , inversion à 17° et forte polarisation positive, atteignant un maximum de 315 millièmes pour 130° .

Au voisinage de ce maximum, la polarisation varie beaucoup avec la couleur de la lumière ; elle est, comme on devait s'y attendre, plus forte pour les radiations les plus absorbées.

Laves. — J'ai étudié un échantillon de lave de Volvic et sept échantillons de lave du Vésuve ⁽¹⁾. Tous étaient orientés de manière à présenter une cassure normale à la bissectrice du rayon incident et du rayon diffusé vers le polarimètre. Ils ont donné des résultats assez variés, comme on peut en juger sur les courbes des figures 40 et 41. Ces courbes correspondent à des laves dont les albédos vont en décroissant.

D'une manière générale, lorsque l'albédo diminue, la polarisation maximum tend à augmenter.

La porosité paraît jouer un rôle important sur la forme de la courbe :

Les laves très poreuses ont, en général, leur maximum de polarisation relativement faible et un peu déplacé vers les petits angles de vision. Leur branche négative est, par contre, toujours plus développée.

Les laves très vitrifiées ont, au contraire, une polarisation positive relativement forte et une branche négative peu accusée ou même quelquefois inexistante.

Il semble bien que, plus la lave est poreuse, plus la branche négative est développée et plus l'abscisse du minimum et celle du point d'inversion sont élevées.

Il est intéressant de vérifier ces propriétés sur des laves pulvérisées. Les courbes A', B' et C', figure 40, sont relatives aux échantillons A, B, C, réduits à l'état de poudre fine (grains de $0^{\text{mm}},1$ à $0^{\text{mm}},2$).

Pour tous les trois, la polarisation négative a augmenté ainsi que l'angle d'inversion et l'abscisse du maximum a diminué. La polarisation maximum est accrue pour la lave A qui était très poreuse, tandis qu'elle est considérablement réduite pour les laves B et C.

Ces changements ne sont pas dus uniquement à des variations de teintes, car la pulvérisation a augmenté l'albédo des laves B et C, tandis qu'elle a diminué celui de la lave A : ils tiennent, en grande partie, à des modifications de la porosité.

Cendres volcaniques. — J'ai étudié un grand nombre de cendres volcaniques rejetées par le Vésuve au cours des pluies de 1872, 1906 et 1908.

⁽¹⁾ Ces échantillons de laves, ainsi que les échantillons de cendres volcaniques qui seront étudiés plus loin, m'ont été offerts par M. Malladra, directeur de l'Observatoire du Vésuve, à qui je tiens à exprimer toute ma reconnaissance.

Lave très poreuse rouge-brun
C - albédo 0,082 C' - albédo 0,15

Lave grise un peu cristalline et poreuse
B - albédo 0,15 B' - albédo 0,17

Lave poreuse grise à gros cristaux blancs
A - albédo 0,23 A' - albédo 0,17

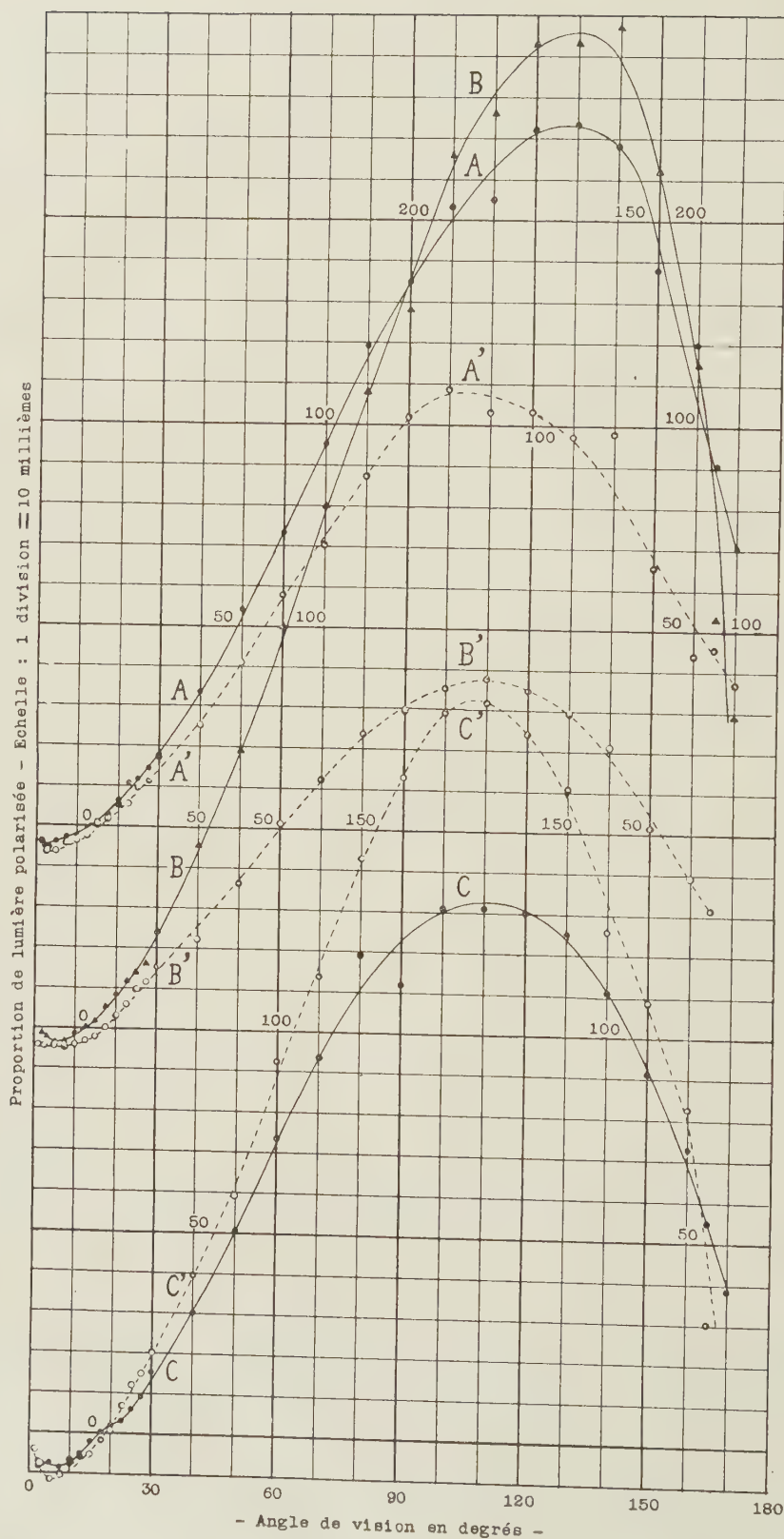


Fig. 40 - Laves du Vésuve observées symétriquement
 { courbes en traits pleins A B C : échantillons présentant une cassure
 courbes en traits hachurés A' B' C' : les mêmes échantillons pulvérisés

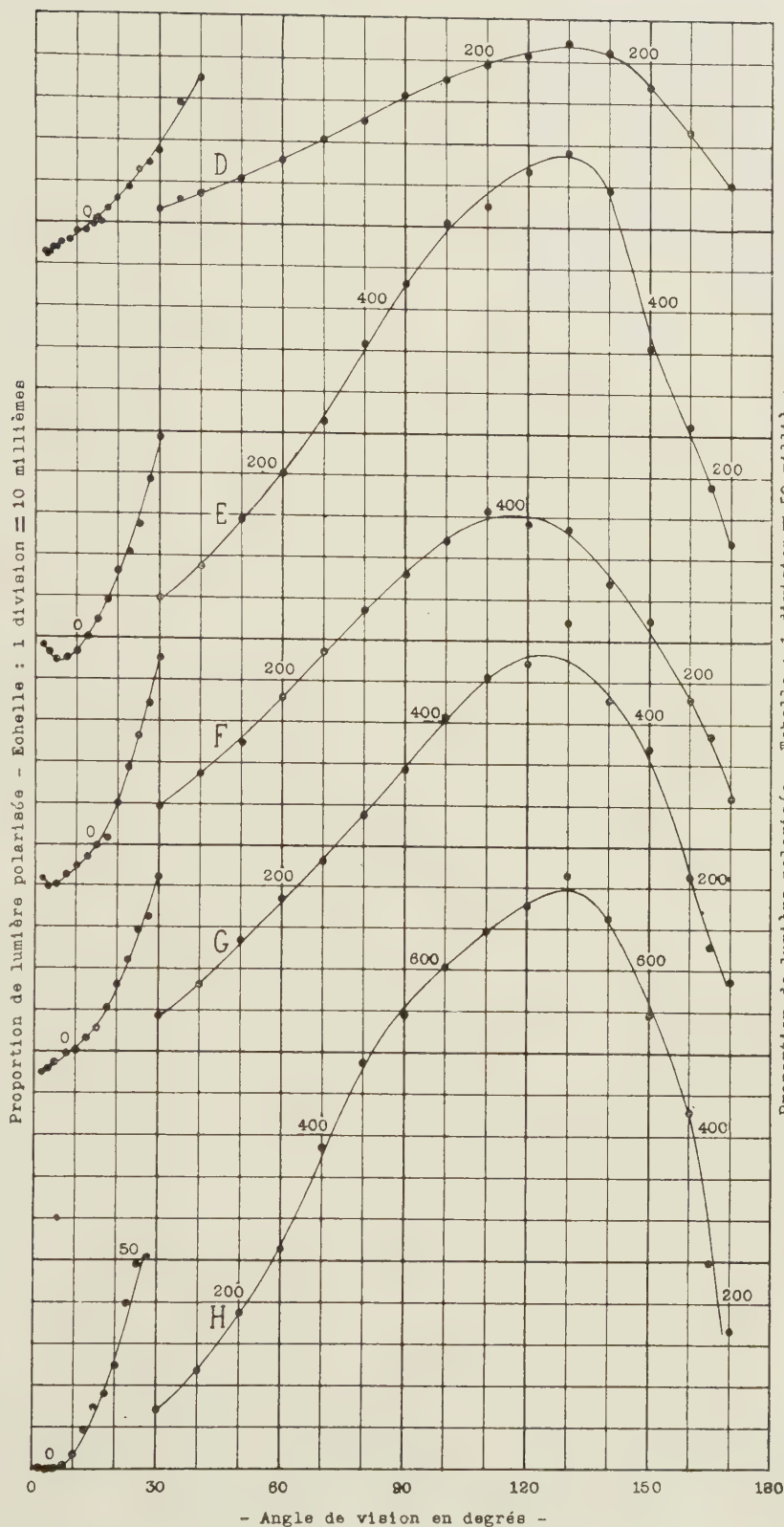
D - Lave grise
un peu poreuse
albédo 0,15

E - Lave noire
cristaux transparents
albédo 0,086

F - Lave noire
poreuse
albédo 0,053

G - Lave noire
brillante
albédo 0,044

H - Lave noire
entièrement vitrifiée
albédo 0,029



Pluies du : 12 avril 1908 - 11 avril 1908 - 14 avril 1908 - 9 avril 1908 - Eruption de 1906 Eruption de 1906 Eruption de 1906
 Grosse poudre brune Sphérules gris Poudre gris-brun Sphérules gris-brun Poudre gris-brun Sphérules gris-brun
 G - albédo = 0,096 F - albédo = 0,156 E - albédo = 0,166 D - albédo = 0,18 C - albédo = 0,206 B - albédo = 0,218 A - albédo = 0,233

Proportion de lumière polarisée : échelle : 1 division = 10 millièmes

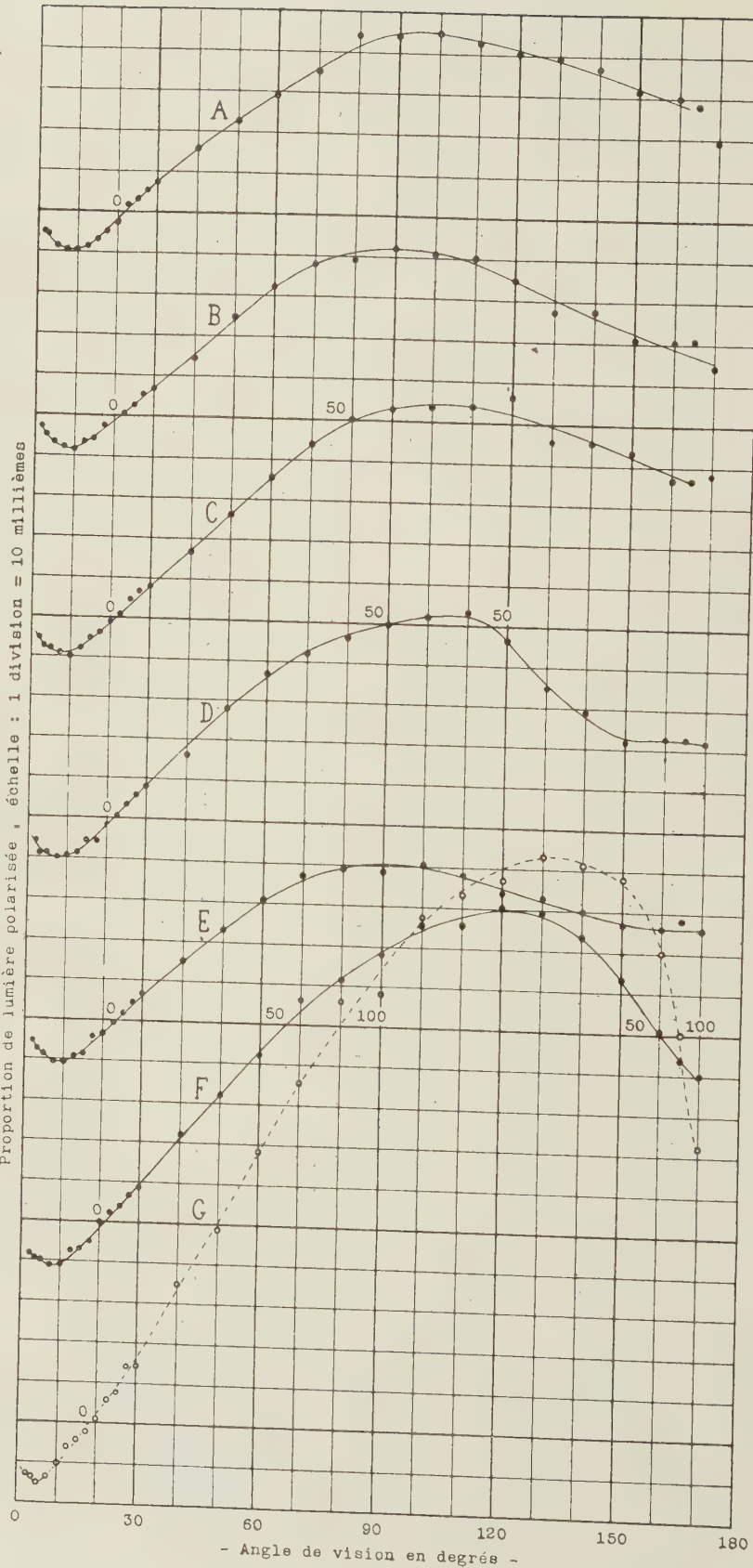


Fig. 42 - Cendres du Vésuve

J - Pluie du 8 Avril 1908
Grains gris, diamètre 0,5 à 3 mm.
albédo 0,048

I - Eruption de 1906
Grains noirs et bruns, diamètre 1 à 4 mm.
albédo 0,051

H - Eruption de 1872
Grains noirs, diamètre 0,3 à 1 mm.
albédo 0,063

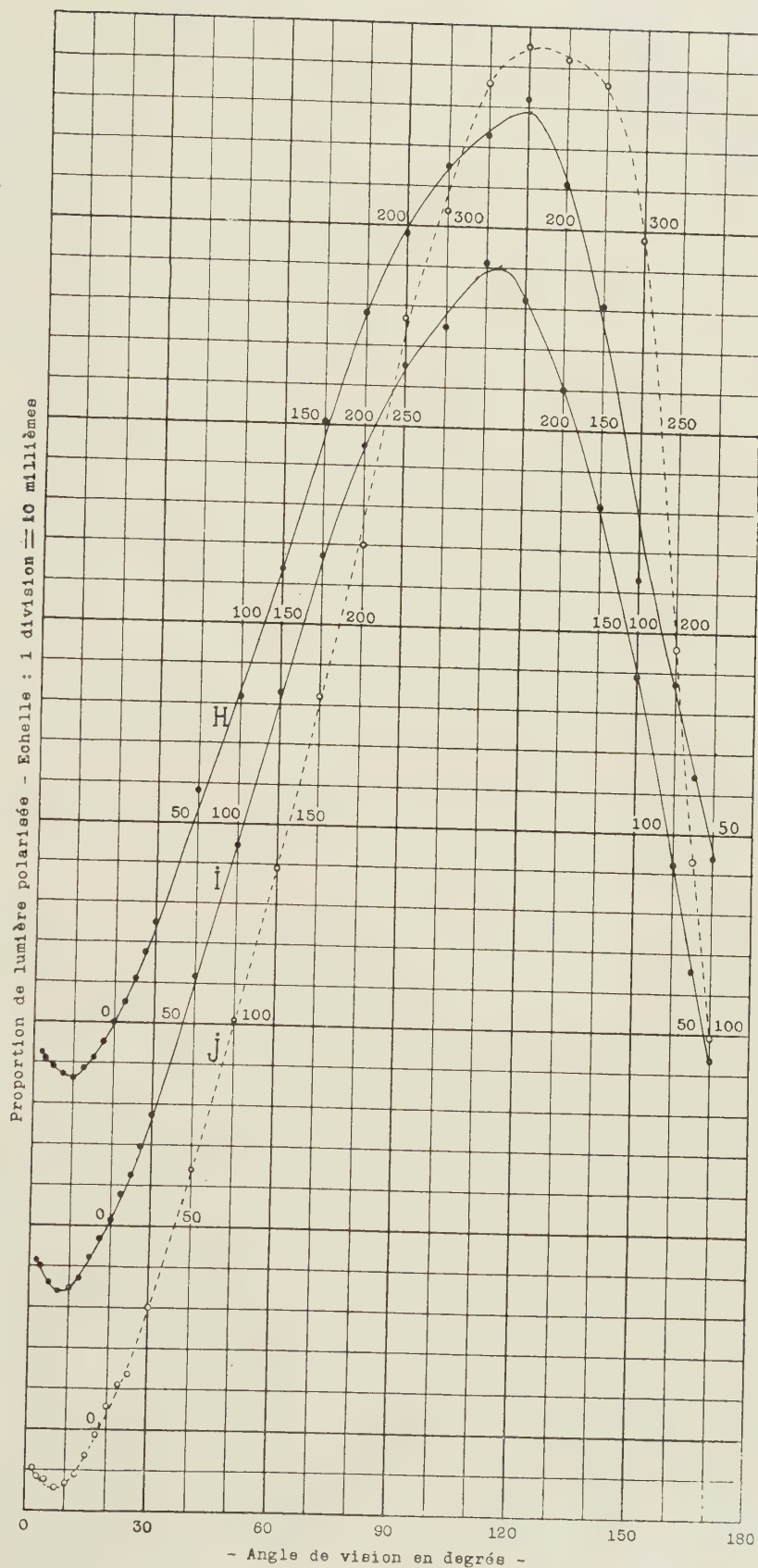


Fig. 43 - Cendres du Vésuve

Les courbes des figures 42 et 43 sont relatives à quelques échantillons dont les albédos vont en décroissant de 0,22 à 0,05 et dont les colorations varient du brun-rouge au gris-bleu.

Ces courbes présentent des caractères particuliers qui différencient les cendres volcaniques des autres roches, comme le montre le tableau XV.

Elles ont toutes une branche négative plus développée que celles des substances étudiées précédemment.

L'angle d'inversion reste compris entre 17 et 23 degrés ; il paraît d'autant plus élevé que la cendre est plus claire.

L'abscisse du minimum varie dans le même sens, entre 6 et 10 degrés.

L'amplitude du minimum est la plus grande pour les cendres les plus foncées ; elle va de — 8 à — 14 millièmes.

Les polarisations positives sont, en général, beaucoup plus faibles que pour les autres substances de même albédo. L'abscisse du maximum est faible et varie de 90 à 150 degrés ; mais elle croît quand l'albédo décroît, contrairement à ce que nous avons vu sur les poudres homogènes.

Les polarisations résiduelles, que l'on obtient avec une lumière incidente totalement polarisée, sont voisines de celles des laves et des granits ; elles sont comprises entre 0,220 et 0,440 et croissent très régulièrement lorsque l'albédo diminue.

Enfin, sauf sur les cendres les plus foncées, le produit de la polarisation résiduelle par l'albédo est plus grand que pour les autres substances.

CAUSES DE LA POLARISATION NÉGATIVE

Nous avons vu que presque tous les corps solides absorbants et même quelques corps très blancs, tels que la craie et la magnésie, polarisent la lumière normalement au plan de vision, lorsque l'observateur est placé dans une direction voisine de celle de la source.

Cette curieuse polarisation paraît devoir être attribuée, dans certains cas, uniquement à la surface du solide ; par exemple, pour la poudre de cinabre éclairée en lumière bleue et pour la galène pulvérisée.

Dans le cas d'une substance ayant un albédo moyen, la polarisation négative paraît être due, en partie, à la lumière réfléchiée par la surface, comme le montre l'expérience suivante : l'échantillon de lave rouge, très poreuse (courbe C, fig. 42), immergé dans la benzine, donne une polarisation négative beaucoup plus faible que dans l'air : minimum — 5 millièmes, au lieu de — 8 et angle d'inversion 10° au lieu de 17°.

Dans le cas de corps très blancs, la polarisation négative doit provenir, en

majeure partie, de l'intérieur, car la proportion de lumière réfléchiée par la surface est alors très faible.

Ces curieux phénomènes peuvent, semble-t-il, être considérés comme des conséquences de la diffraction de la lumière par les particules dont le corps est composé ; ils offriraient quelque analogie avec ceux que présentent les milieux troubles dont quelques exemples seront étudiés à la fin de ce chapitre.

C'est, sans doute, dans cette voie qu'il faudra chercher leur explication.

LUMIÈRE DIFFUSÉE DANS LA DIRECTION DE LA SOURCE

On peut s'attendre, *a priori*, à trouver, dans certains cas, une polarisation sensible, même pour la lumière diffusée exactement dans la direction de la source lumineuse.

Prenons, par exemple, un corps blanc, à surface vitreuse, éclairé et examiné sous une incidence très oblique. Les rayons qui tombent sur lui vont être polarisés par réfraction dans un plan normal au plan d'incidence ; ils seront diffusés à l'intérieur du corps et en grande partie dépolarisés, mais, en revenant vers la source, ils subiront une nouvelle polarisation, de même sens que la première.

On peut expliquer ainsi la polarisation inverse trouvée par Salet ⁽¹⁾ sur du grès fondu.

J'ai cherché si les minéraux usuels ne présentaient pas, à un moindre degré, un phénomène analogue.

Il était difficile d'examiner la lumière du corps dans une direction assez voisine de celle de la source pour annuler la polarisation par simple diffusion.

J'ai utilisé, pour cela, le goniomètre décrit précédemment, en plaçant la source très près du polarimètre, puis en le déplaçant dans le sens de l'axe du goniomètre, de manière que le plan de vision fasse, avec celui-ci, un angle de 45° , l'angle de vision étant de $20^{\circ}30'$.

La surface examinée qui était, soit celle d'une poudre, soit la cassure grossièrement plane d'un minéral, passait par l'axe du goniomètre et pouvait tourner autour de celui-ci. Un index, lié au corps, donnait l'angle que formait la normale à sa surface moyenne avec les rayons diffusés vers le polarimètre.

Tous les solides examinés dans ces conditions ont présenté une polarisation observable dans un plan normal au plan d'incidence.

La proportion de lumière polarisée croît avec l'incidence, à peu près suivant une parabole quand la surface est bien plane, suivant une loi plus linéaire quand la surface est irrégulière. On s'en rendra compte sur les courbes de la figure 44 et sur le tableau XV, p. 126, dont la dernière colonne donne les proportions de

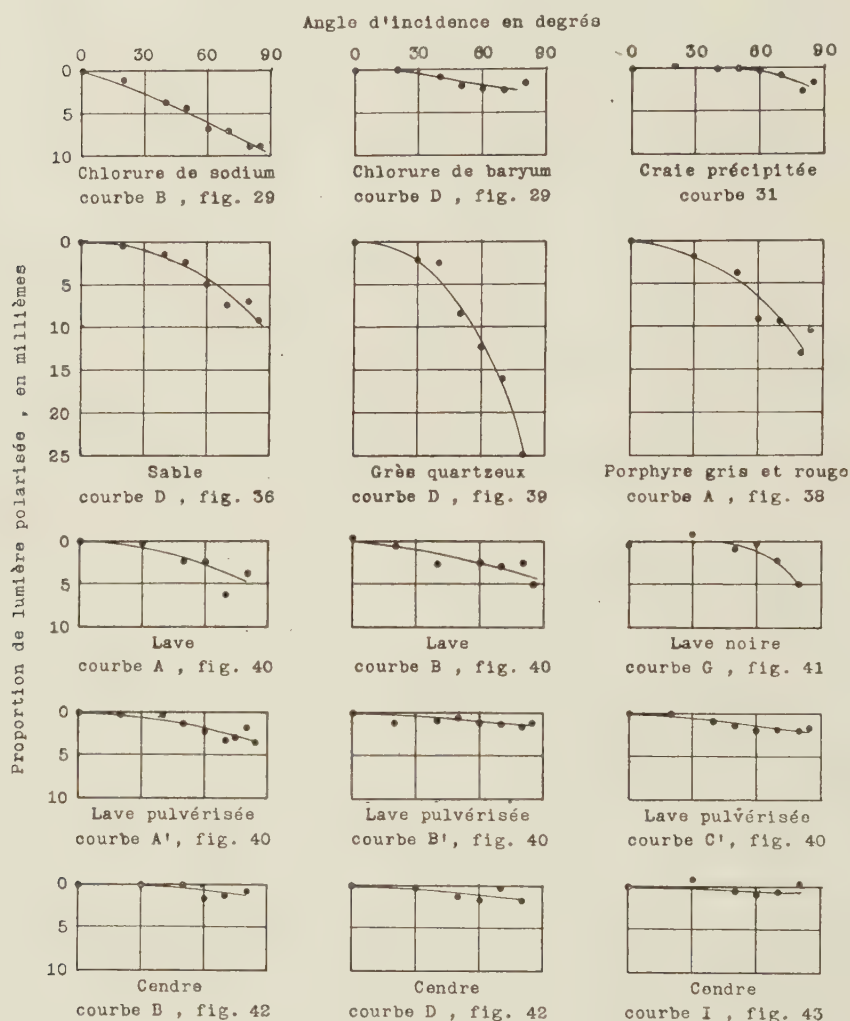
(1) SALET, *Thèse*, 1910, p. 58.

lumière polarisée déduites de graphiques semblables, pour une incidence de 80° .

Sous cette incidence, les poudres cristallines ont donné des polarisations de 2 à 12 millièmes, paraissant varier en sens inverse de la biréfringence des grains.

La polarisation des minéraux est très variable : très forte sur le grès quartzeux

Fig. 44 - Solides - Polarisation des rayons diffusés vers la source



où elle atteint 25 millièmes, elle est de 9 à 13 sur les granits, 4 à 8 sur les laves en morceaux, 1 à 3 sur les laves pulvérisées, tandis que, sur les cendres volcaniques, elle est à peine sensible et ne dépasse pas 1 millième. Sur la neige, elle est d'environ 12 millièmes, variable avec l'état de fusion. Des corps à surface partiellement réfléchissante donnent des valeurs très élevées (100 millièmes pour le carton bristol).

Ces phénomènes semblent dus, comme nous l'avons dit précédemment, à une polarisation par réfraction.

D'autres corps présentent un phénomène d'apparence identique, mais dont le mécanisme est bien différent. En voici deux exemples :

En étudiant, au polarimètre, la lumière diffusée par une pelouse de gazon éclairé par le Soleil, dont la hauteur était de 28° , j'ai observé le fait suivant : à 5° à gauche et à droite de l'ombre du polarimètre, la polarisation était horizontale, de 8 à 9 millièmes. A la même distance au-dessus de l'ombre, la polarisation était encore horizontale, mais beaucoup plus forte, de 17 millièmes. Les mesures, répétées en divers points de la pelouse, ont donné des résultats semblables.

On peut en déduire que l'herbe donnait, sous l'angle de vision de 5° , une polarisation négative de 4,5 millièmes à laquelle se superposait une polarisation horizontale de 13 millièmes.

Ce phénomène ne pouvait être dû qu'en partie à la polarisation de la lumière générale du ciel, car celle-ci était beaucoup moins intense que la lumière du Soleil et la polarisation qu'elle produisait dans l'ombre même du polarimètre était inférieure à 14 millièmes.

Dans ce cas, la polarisation, observée dans la direction de la source, peut être attribuée à la lumière qui a subi plusieurs diffusions ou plusieurs réflexions successives sur les brins d'herbe et qui doit être fortement polarisée, normalement à la direction de ces brins.

Une planchette de sapin, éclairée et observée de face, polarise la lumière dans un plan perpendiculaire aux fibres du bois. Il en est de même pour des cristaux de galène dont la cassure est inclinée sur un plan de clivage ; leur surface est couverte d'aspérités dont les arêtes ont, en général, une orientation commune ; la lumière diffusée est polarisée normalement à cette orientation.

Etude des milieux troubles.

NUAGES DE GOUTTELETTES D'EAU, TRANSPARENTS

Influence du diamètre des gouttes. — Les nuages de gouttelettes d'eau étant très répandus dans la nature, il serait très important de bien connaître leur polarisation.

Nous possédons, sur ce sujet, quelques indications précieuses, fournies par les observations de Soret et les calculs de Shoulejkin, mais ces indications ne s'appliquent qu'à un trop petit nombre de cas particuliers et ne sont pas suffisamment précises. La polarisation varie tellement, suivant le diamètre des gouttes et l'opacité du nuage, qu'il est nécessaire d'étudier expérimentalement des exemples divers.

TABLEAU XV

Polarisation des solides.

	Courbe	Albédo S	Indice N	inv. I	Angle de vision			Polarisation		R P'	R' × S	C P'	P ₀	
					Min. α	Max. α'	Min. P	Max. P'						
<i>Poudres homogènes :</i>														
Nitrate de sodium	A fig. 29	0,71	{ 1,58 1,33 }	.....	.....	150°	0	+	62	18	18	44	0,29	12 0,29 ..
Chlorure de sodium	B	29 0,64	1,54	17°	< 3°	137	2	+	34	1	74	22	2,18	47 0,03 9
Chlorure d'ammonium	C	29 0,69	1,64	.....	.....	145	0		65	9	106	45	1,68	73 0,14 ..
Chlorure de baryum	D	29 0,71	{ 1,64 1,65 1,66 }	.....	.....	> 160	2		100	25	44	71	0,44	31 0,26 2
Nitrate de plomb	E	29 0,79	1,78	.....	.....	150	0		188	70	95	148	0,50	75 0,36 ..
Graine précipitée	31	0,82	{ 1,49 1,66 }	.....	.....	170	0		29	10	22	24	0,76	18 0,34 2
Spath pulvérisé	30	0,67	{ 1,49 1,66 }	25	14	142	2		41	0	48	27	1,17	32 0 ..
Magnésie	33	1,0	.....	23	0,7	115	11		82	6	149	82	1,82	149 0,07 ..
Cinabre en lumière rouge	B	32 0,54	{ 2,8 3,1 }	.....	.....	157	0		66	21	55	31	0,83	30 0,32 ..
Cinabre en lumière bleue	A	32 0,044	.....	15	6	125	5		435	85	598	19	1,37	26 0,19 ..
Verre pilé	A	33 0,76	1,52	.....	.....	150	0		146	23	140	111	0,96	106 0,16 ..
Sphérules de verre	B	33 0,50 ⁽¹⁾	1,52	.....	.....	{ 140 18 }	0		152	35	470	76	3,09	235 0,23 ..
Magnétite pulvérisée	C	38 0,25	.....	8	< 3	140	2		760	150	689	190	0,91	172 0,20 ..
Pyrite pulvérisée	D	38 0,15	.....	.....	.....	145	0		530	120	725	80	1,37	108 0,24 ..
Galène pulvérisée	E	38 0,11	.....	22	11	140	13		570	110	630	63	1,10	69 0,19 ..

⁽¹⁾ Albédo très variable.

Courbe	Albedo s	Indice inv.	Angle de vision		Polarisation		R	R × S	C	P
			Min.	Max.	Min.	Max.				
		N	α	α'	P	P'	P' × S	$\frac{R}{P}$	$\frac{C}{P}$	$\frac{P}{P'}$
<i>Roches sédimentaires :</i>										
Craie	A fig. 36 0,79	....	15°	158°	5	50	40	1,96	77 0,23	..
Argile blanche	C 33 0,58	....	3	150	6	217	126	0,52	65 0,24	..
Argile grise	B 36 0,17	....	5	120	7,5	160	27	1,26	34 0,10	..
Sable	D 36 0,24	....	< 3	140	4	280	67	0,43	29 0,27	8
<i>Roches ignées :</i>										
Porphyre gris et rouge	A 37 0,12	....	< 5	130	9	310	37	0,74	27 0,10	12
Porphyre bleu-vert	B 37 0,10	....	< 3	137	6	410	41	0,97	39 0,10	..
Granit blanc et gris	B 39 0,14	....	< 3	130	4	170	24	0,75	18 0,18	8
Grès rouge	C 39 0,115	....	8	130	11	318	36	1,15	42 0,08	..
Grès quartzeux	D 39 0,34	....	9	135	1	138	47	0,89	42 0,23	25
Basalte	A 39 0,079	....	< 3	120	3	223	18	1,59	28 0,12	1
<i>Laves :</i>										
Grise à cristaux blancs	A 40 0,23	....	< 3	128	5	173	40	1,61	64 0,07	5
Grise poreuse	B 40 0,15	....	6	130	3,5	246	37	1,53	56 0,09	4
Rouge très poreuse	C 40 0,082	....	7	110	8	132	11	2,56	28 0,08	..
Grise un peu poreuse	D 41 0,15	....	< 3	130	7	220	33	1,35	45 0,09	..
Noire à cristaux blancs	E 41 0,086	....	6	130	5,5	580	50	0,87	43 0,12	7
Noire poreuse	F 41 0,053	....	4	117	10	400	21	1,26	27 0,06	..
Noire brillante	G 41 0,044	....	< 3	125	5	480	21	1,01	21 0,12	5
Noire très vitrifiée	H 41 0,029	....	.....	130	0	700	20	0,88	18 0,16	..
<i>Laves pulvérisées :</i>										
Grise à cristaux blancs	A' 40 0,17	....	3	105	7	108	18,4	2,24	41 0,06	3
Grise poreuse	B' 40 0,17	....	5	110	5	88	15	2,98	45 0,03	1
Rouge très poreuse	C' 40 0,15	....	6	108	11	182	27	2,05	56 0,06	1
<i>Cendres volcaniques :</i>										
Sphérules gris-brun	A 42 0,233	....	9	95	9	45 *	10,5	5,09	53 *	..

Courbe	Albédo S	Indice N	inv. I	Angle de vision		Polarisation		P' × S	$\frac{P'}{R}$	R × S	P' / C	I ⁹⁰
				Min. α	Max. α'	Min. P	Max. P'					
Poudre fine gris-bleu	B fig. 42	0,218	21,0	10,0	97,0	8	42	9	1,72	43	0	1
Poudre fine gris-brun	C 42	0,206	22	9	105	9	54	11,2	1,27	17	0	..
Poudre moyenne gris-brun	0,191	22,5	8	103	10	43	* 223	8,9	5,18	43	*	..
Poudre fine gris-brun	0,185	20	7	98	7,5	49	* 222	9,1	1,53	41	*	..
Sphérules gris-brun	D 42	0,180	22	8	108	10	53	9,6	1,07	39	*	1
Poudre fine gris-brun	E 42	0,166	23	9	93	11	40	6,6	5,28	35	*	..
Poudre fine grise	0,162	21,5	9	101	9	58	* 252	9,1	1,35	41	*	..
Sphérules gris	F 42	0,156	21	8	122	11	80	12,5	3,42	43	0	..
Grosse poudre brune	G 42	0,096	19	6	132	15	93	8,9	3,59	32	0,02	..
Grains gris 0,6 mm.	H 43	0,063	20	10	120	13,5	228	14,3	1,72	25	0,04	..
Grains gris 0,2 mm.	0,059	19	10	127	12	267	12 432	15,8	1,62	25	0,05	..
Grains noirs et blancs 0,6 mm.	0,058	17,5	8	120	14	310	11 434	18,1	1,40	25	0,04	..
Grains noirs et bruns, 2 mm.	I 43	0,051	19	9	112	16	140	7,2	3,30	23	0,07	..
Grains noirs 0,5 à 3 mm.	J 43	0,048	18	8	120	14	345	16,5	1,28	21	0,06	..

S : albédo avec la définition donnée page 112.

I : angle d'inversion

α : abscisse du minimum

α' : abscisse du maximum

P : proportion de lumière polarisée minimum.

P' : proportion de lumière polarisée maximum } en millièmes.

C : concavité définie par la différence d'ordonnées maximum, exprimée en millièmes, entre la courbe et une tangente menée à la courbe, soit du point d'inversion, soit du point où la courbe quitte l'axe des abscisses. Lorsque la courbe est convexe vers les ordonnées négatives, les chiffres sont remplacés par un astérisque.

R : proportion de lumière polarisée résiduelle, en millièmes, obtenue avec une lumière incidente totalement polarisée et mesurée dans la direction de la source.

P : proportion de la lumière polarisée dans la direction de la source, lumière incidente naturelle, angle d'incidence 80°.

Grosses gouttes. — J'ai étudié, tout d'abord, la polarisation d'une goutte d'eau mesurant environ 1 millimètre et demi de diamètre. Celle-ci était produite au moyen d'un tube de verre rempli d'eau dont une extrémité avait été effilée à la lampe et soigneusement graissée ⁽¹⁾. L'autre extrémité était fermée par un bouchon traversé par une vis à métaux.

En vissant la vis, on faisait sortir une petite quantité d'eau de l'extrémité capillaire. L'eau, n'adhérant pas au verre, prenait très sensiblement la forme d'une sphère. Au moyen de la vis, il était facile de régler son diamètre et de compenser l'évaporation.

La goutte était suspendue au centre du goniomètre et son image venait se former au centre de l'ocille du polarimètre, dans la pupille de l'observateur qui recevait ainsi toute sa lumière.

J'ai obtenu, de cette façon, la courbe A, figure 46. Il est facile d'expliquer sa forme en examinant les aspects successifs offerts par la goutte lorsqu'on l'observe dans les diverses directions occupées par le polarimètre. Ces aspects sont représentés schématiquement au bas de la figure.

La goutte apparaît toujours complètement obscure, sauf en certains points alignés suivant un diamètre passant par la source; ce sont des images de la source. Leurs lumières sont polarisées dans un plan, soit parallèle, soit normal au plan de vision; leurs intensités et leurs proportions de lumière polarisée varient beaucoup, avec la direction d'observation.

La lumière totale, diffusée par la goutte, peut être considérée comme le mélange des lumières de ces différentes images.

Il est nécessaire de tenir compte des images les plus intenses qui sont produites par le rayon A, figure 45, réfléchi à l'extérieur de la goutte, le rayon D deux fois réfracté, les deux rayons B et B' réfléchis une fois, à l'intérieur de la goutte et deux fois réfractés et, enfin, les rayons C et C', réfléchis deux fois à l'intérieur et deux fois réfractés. Les autres, en nombre théoriquement infini, sont beaucoup plus faibles et peuvent être négligés dans toutes les directions.

La figure 45 montre que les images données par les rayons A, C et C' doivent apparaître du côté de la source, tandis que celles des rayons B, B' et D apparaîtront du côté opposé. Toutes, sauf D, sont polarisées dans le plan de vision.

Quand l'angle de vision est petit, les seules images sont A et B, situées près du centre; leur polarisation est d'abord nulle; celle de A croît lentement, celle de B, beaucoup plus rapidement.

Vers 15 degrés, on voit apparaître, au bord opposé de la source, l'image B' très polarisée; B et B' se rapprochent et leur intensité augmente beaucoup; on

(1) Ce procédé a été signalé par Wood : *Optique physique*, t. 1, p. 421.

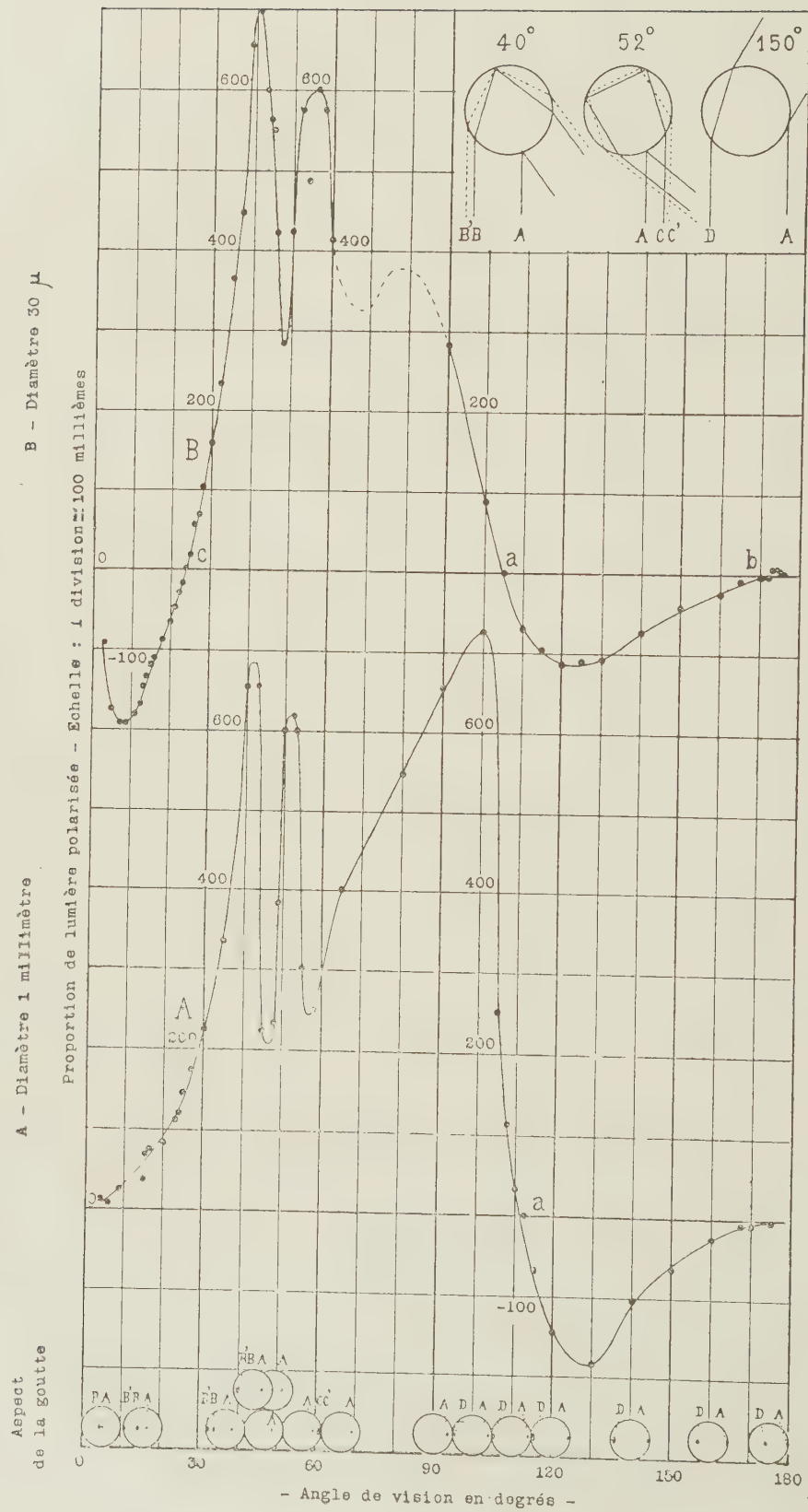


Fig. 45 - Gouttelettes d'eau

Fig. 45 - Principaux rayons

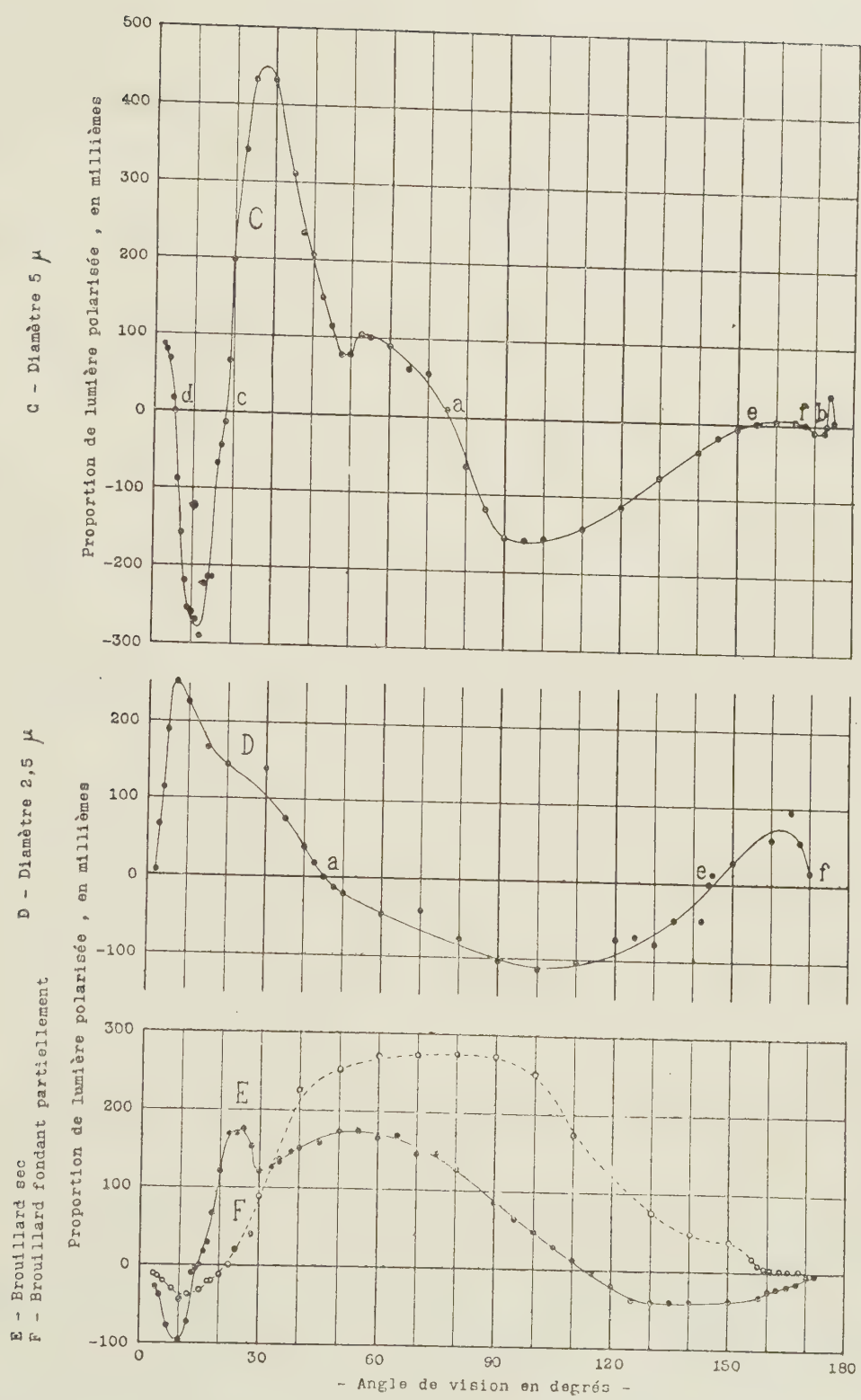


Fig. 47 - Gouttelettes d'eau

Fig. 48 - Brouillards de glace

s'explique ainsi pourquoi la polarisation de la goutte croît de plus en plus rapidement.

Vers 40 degrés, B et B' se confondent pour donner naissance, dans la direction du premier arc-en-ciel, à une tache lumineuse, extrêmement intense, qui disparaît ensuite brusquement pour 44 degrés.

Ces phénomènes se traduisent sur la courbe par un premier maximum aigu, suivi d'une chute très rapide jusqu'à la valeur donnée par les formules de Fresnel pour l'image A.

Peu après, vers 48 degrés, l'image C apparaît, devient aussitôt très intense, puis, vers 55 degrés, se divise en deux images, C et C', qui s'affaiblissent très rapidement et disparaissent. Ces changements accompagnent le deuxième arc-en-ciel ; ils apparaissent sur la courbe, sous la forme d'un second maximum très aigu.

La polarisation de la goutte, réduite à celle de l'image A, augmente ensuite rapidement.

Vers 100 degrés, l'image D apparaît et devient rapidement très intense. Comme elle est polarisée négativement, la courbe descend suivant une forte pente et s'inverse, puis, la polarisation de D diminuant, elle se rapproche de l'axe des abscisses qu'elle rencontrerait pour 180 degrés.

Ces phénomènes sont beaucoup plus complexes que ceux que Shoulejkin ⁽¹⁾ avait prévus théoriquement. Il avait, d'ailleurs, effectué ses calculs en tenant compte seulement des rayons A et B.

Gouttes d'environ 500 μ . — J'ai étudié des gouttelettes plus fines, produites au moyen de jets d'eau très fins, issus d'un faisceau de tubes capillaires.

La courbe obtenue ne figure pas ici ; elle est très voisine de la précédente, mais elle présente cependant certaines déformations, dues à la diffraction : l'angle d'inversion a diminué de 112° à 110°, tandis qu'une petite branche positive apparaît pour les grands angles, avec un nouveau point d'inversion, *b*, pour 168°.

Gouttes d'eau d'environ 35 μ . — Ces gouttes étaient produites par un vaporisateur alimenté, sous pression constante, par le courant d'air d'une trompe à eau soufflante. Elles ont donné la courbe B, figure 46.

Nous retrouvons, à 105°, le point d'inversion, *a*, encore déplacé vers les petits angles.

Le second point d'inversion, *b*, s'est déplacé à 173°.

Un troisième point d'inversion, *c*, est apparu vers 24°, précédé d'une branche négative importante.

⁽¹⁾ SHOULEJKIN, Diffusion de la lumière par de grosses particules colloïdales, *Philosophical Magazine*, t. 48, 1924, p. 307 à 320.

Gouttelettes d'eau d'environ 5 μ . — La courbe C, figure 47, est obtenue avec de fines gouttelettes produites par la condensation, dans l'air, d'un jet de vapeur d'eau.

Les gouttelettes formaient un nuage transparent à travers lequel la source apparaissait, entourée d'une couronne ayant un rayon de $30\frac{1}{2}$, ce qui permet de leur attribuer un diamètre voisin de 5 μ .

Nous voyons, sur cette courbe, les phénomènes de diffraction devenir de plus en plus importants. L'angle d'inversion principal, a , est descendu à 76° ⁽¹⁾, l'angle c a diminué également, tandis qu'il s'est formé une autre inversion en d .

Nous retrouvons le point b à 173° , précédé de deux nouvelles inversions, e et f , qui semblent dues à un relèvement d'une portion de la courbe vers l'abscisse 160° .

La diffraction a également pour effet d'affaiblir beaucoup le maximum du deuxième arc-en-ciel et d'élargir le premier.

Très fines gouttelettes. — Pour étudier des gouttelettes encore plus fines, j'ai placé, au centre du goniomètre, un ballon de verre de un litre, de forme sensiblement sphérique et dont les parois avaient été soigneusement privées de poussières, de manière à diffuser le moins de lumière possible.

Ce ballon contenait un peu d'eau et se trouvait plein d'air saturé d'humidité.

En détendant légèrement cet air, au moyen d'une poire en caoutchouc, on voyait le ballon se remplir d'un brouillard de très fines gouttelettes à travers lequel la source apparaissait, entourée d'une tache lumineuse et d'anneaux concentriques présentant une série de couleurs d'interférence. Les diamètres de ces anneaux diminuaient lorsqu'on accentuait la détente.

J'ai réglé la détente de manière que la tache centrale présente la couleur verte du premier ordre. Le diamètre des gouttes, évalué d'après cette couleur, était, semble-t-il, voisin de $2^{\mu},3$.

La tache centrale, plus brillante que les anneaux, avait un diamètre apparent de 15° environ. En la considérant comme une couronne, on trouve, pour les gouttes, un diamètre de $2^{\mu},2$.

Ce diamètre devait être sensiblement le même pour toutes les gouttes, étant donné la pureté des couleurs obtenues.

(1) Les nuages terrestres les plus fréquents sont formés de gouttelettes un peu plus grosses que celles-ci, ainsi que l'indiquent les couronnes auxquelles ils donnent naissance en passant devant la Lune (ces couronnes ont un diamètre de 1 à 2 degrés). Il doit en être de même des nuages observés en montagne par Soret. Ce physicien a trouvé, à peu près comme moi, une branche négative entre 3° et 20° , un maximum positif vers 40° , une inversion vers 90° et un maximum négatif vers 135° (voir p. 97). L'opacité du nuage, qui était alors totale, ne paraît pas avoir modifié beaucoup la position des maxima et des points d'inversion.

Le brouillard se condensait rapidement, aussi était-il nécessaire de faire plusieurs détente pour chaque mesure.

Je vérifiais souvent, d'après les couleurs, la constance du diamètre des gouttes. Malgré cela, je n'ai pu éviter de petits écarts; c'est pourquoi les points de la courbe obtenue (courbe D, fig. 47) sont plus dispersés que ceux des précédentes.

Celle-ci nous montre l'angle d'inversion principal, a , encore plus petit, ne mesurant plus que 45° . Le point d a disparu, b et c n'ont pas pu être observés, tandis que e et f se sont écartés.

La branche positive a beaucoup diminué et les pointes correspondant aux deux arcs-en-ciel ont complètement disparu.

BROUILLARDS DE GLACE, TRANSPARENTS

J'ai étudié des brouillards de glace produits de la façon suivante :

Un petit ventilateur envoie un courant d'air lent dans un vase de Dewar contenant de l'air liquide, à travers un tuyau de caoutchouc dont l'orifice débouche un peu au-dessus de la surface du liquide. Une pince permet de régler le courant d'air.

Au cours des expériences, la température de cet air était de $+ 16$ degrés et son point de rosée était de $+ 5$ degrés environ. Son mélange avec l'air froid provenant du liquide produisait la condensation sous forme d'un nuage de fins cristaux scintillant à la lumière.

J'étudiais ce nuage au sortir du vase dont l'ouverture était placée près du centre du goniomètre. La polarisation de la lumière qu'il diffusait variait avec le débit du courant d'air.

Avec un débit très faible, j'ai obtenu la courbe E, figure 48.

En augmentant progressivement le débit, la courbe se déformait et tendait rapidement vers la courbe F.

La première courbe semble due à des cristaux partiellement fondus; elle présente des caractères communs avec la courbe C, obtenue sur des gouttelettes d'eau de diamètre égal à 5μ environ (même abscisse pour le premier minimum et pour les deux maxima; polarisation négative pour les grands angles).

La deuxième courbe rappelle celle des cendres volcaniques, mais avec une polarisation négative beaucoup plus forte pour les petits angles et une abscisse du maximum plus faible.

Vers 156° , la polarisation subit quelques oscillations attribuables, sans doute, à la diffraction, ainsi que la branche négative initiale.

On aurait pu s'attendre à constater une chute brusque de lumière accompagnée d'un accroissement de polarisation, vers 157° , correspondant au passage de

l'observateur à l'intérieur du halo de 22° . Rien de tel n'a été observé ; ce halo est, d'ailleurs, resté invisible, sans doute à cause de l'importance des phénomènes de diffraction résultant de la finesse des cristaux. La dimension de ces cristaux doit exercer une influence prépondérante sur la forme de la courbe de polarisation ; il serait donc très important de poursuivre ces mesures avec des nuages formés de cristaux ayant des dimensions aussi variées que possible.

NUAGES DE GOUTTELETTES, OPAQUES

Influence de l'épaisseur. — La nature nous offre rarement des nuages aussi transparents que ceux que nous venons d'étudier. Ainsi que l'a remarqué Soret, le cas d'un nuage opaque est assez différent : chaque goutte reçoit de la lumière, non seulement de la source, mais aussi des gouttes environnantes.

Comme chaque goutte diffuse une lumière dont l'intensité et l'état de polarisation varient beaucoup, suivant la direction, il serait très difficile de calculer la courbe de polarisation.

On peut, cependant, prévoir que la polarisation d'une couche nuageuse très étendue, éclairée uniformément sur toute sa surface, ne doit pas dépendre de la distance entre les gouttes, car cette distance est toujours grande vis-à-vis de leur diamètre. La polarisation doit être fonction seulement de l'opacité de la couche.

J'ai essayé de résoudre le problème, expérimentalement, au moyen du dispositif suivant :

Une solution colloïdale, formée de grains sphériques transparents en suspension dans l'eau, est contenue dans un ballon de verre d'un demi-litre dont elle occupe l'hémisphère inférieur ; l'hémisphère supérieur est rempli d'éther.

La substance des grains est soluble dans l'éther, ce qui empêche ceux-ci de se coller à la surface de séparation des deux liquides.

Le ballon est placé au centre du goniomètre et le faisceau lumineux de la source est élargi, de manière à éclairer presque toute la surface du nuage de granules, tandis que le polarimètre est pointé sur sa partie centrale.

Avec une solution colloïdale très opaque, les conditions sont équivalentes à celles d'un nuage épais, de dimensions indéfinies, éclairé par le Soleil et étudié par un observateur placé au-dessus de sa surface. Le rayon réfléchi sur la surface de séparation des deux liquides était éliminé, en faisant l'angle d'incidence un peu plus grand que l'angle de la normale et de la direction du polarimètre.

Les angles de vision ont été calculés en tenant compte de la réfraction, produite à la séparation des deux liquides, qui était toujours inférieure à 4° .

Cette réfraction apportait, dans les mesures de polarisation, des erreurs infé-

A - Solution très diluée
A - Solution très opaque

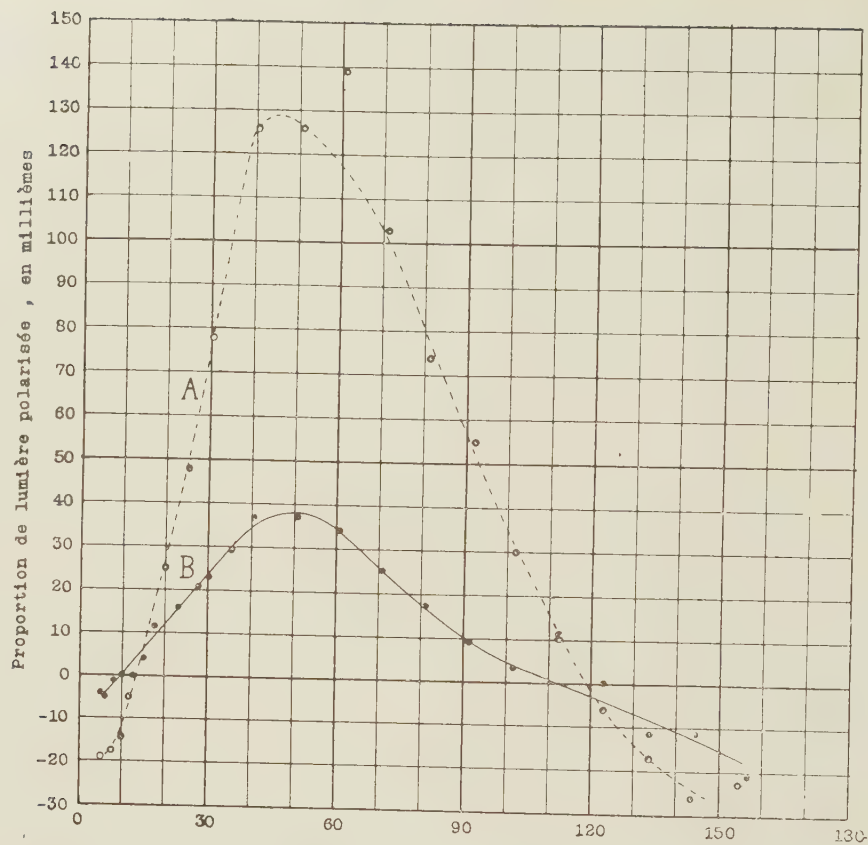


Fig. 49 - Emulsion de bromonaphtaline dans l'eau

A - Solution très diluée
B - Solution très opaque

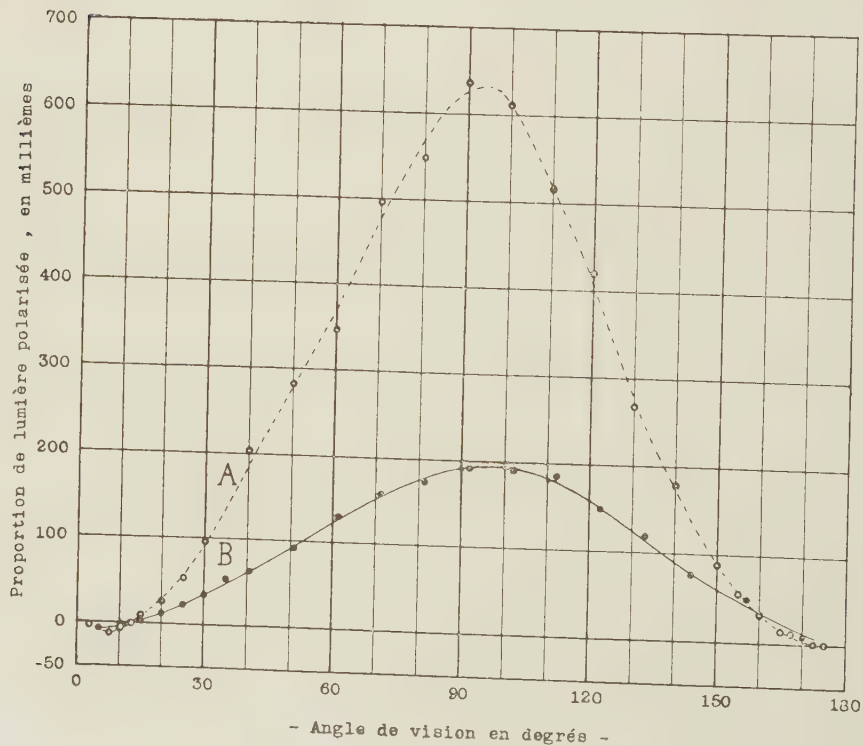


Fig. 50 - Solution colloïdale de résine dans l'eau

rieures à 1 millième ; il aurait d'ailleurs été facile de la supprimer en dissolvant dans l'eau une substance quelconque, pour rendre son indice égal à celui de l'éther.

J'ai cherché à étudier, par ce procédé, des solutions colloïdales formées de grains sphériques ayant, par rapport à l'eau, un indice se rapprochant autant que possible de 1,53, indice de l'eau par rapport à l'air.

Elles étaient préparées en dissolvant le corps dans l'alcool et en versant la solution dans une grande quantité d'eau.

Le diiodométhane, d'indice 1,737, décoloré par contact avec du mercure, n'a pas donné une solution assez stable pour permettre les mesures.

Le sulfure de carbone s'est comporté de même.

J'ai obtenu une solution suffisamment stable avec la bromonaphtaline. Examinée au microscope, elle s'est montrée formée de grains de tailles diverses ; les plus nombreux avaient un diamètre d'environ 2μ . La solution, interposée devant une source lumineuse, dans une cuve à faces parallèles, donnait une couronne floue d'environ 110° de rayon.

La courbe B, figure 49, a été obtenue avec cette solution, assez concentrée pour diffuser complètement la lumière sur une épaisseur de 1 centimètre ; la courbe A est donnée par la même solution, diluée jusqu'à diffuser seulement quelques centièmes de la lumière incidente.

Elles ont sensiblement la même forme. Les diffusions multiples ont pour principal effet de diminuer la polarisation qui est, en moyenne, trois fois et demie plus faible dans le premier cas ; de plus, les ordonnées paraissent un peu moins réduites pour les grands angles que pour les petits, ce qui est naturel puisque les grains diffusent plus de lumière à l'opposé de la source que vers celle-ci.

On peut même prévoir, pour cette raison, que les diffusions multiples doivent, dans certains cas, diminuer l'angle d'inversion principal qui est ici de 120° .

En effet, les rayons qui parviennent au polarimètre, à 120° de la source, après avoir été diffusés une seule fois, ne sont pas polarisés. Ceux qui ont subi deux diffusions, sous des angles de l'ordre de 150° , sont polarisés négativement et, comme les granules envoient beaucoup de lumière sous cet angle, leur polarisation peut dominer, ce qui aurait pour effet d'abaisser la courbe et de diminuer l'angle d'inversion.

Cet effet doit être d'autant plus marqué qu'une goutte isolée diffuse, au total, plus de lumière polarisée négativement et moins de lumière polarisée positivement.

J'ai répété ces expériences avec une solution colloïdale de résine synthétique, d'indice 1,63, obtenue par précipitation de sa solution alcoolique.

Les grains formés étaient très petits ; la plupart ne présentaient, au microscope muni d'un objectif à immersion, aucun diamètre apparent sensible. La solution,

moyennement étendue, paraissait rouge par transmission et diffusait une lumière bleutée.

Les courbes B et A, figure 50, montrent les résultats obtenus avec cette solution très concentrée, puis très étendue. Elles ont la même forme et leurs ordonnées sont, à peu près, dans le rapport de 1 à 4.

Il serait intéressant de poursuivre ces expériences avec une solution colloïdale formée de grains ayant, par rapport à l'eau, un indice relatif voisin de 1,33. Peut-être pourrait-on former ces grains avec une solution de phosphore dans la bromonaphtaline ou même dans une résine. On pourrait ainsi étudier des cas équivalents aux divers nuages aqueux.

TROISIÈME PARTIE

ESSAIS D'INTERPRÉTATION DES PHÉNOMÈNES OBSERVÉS SUR LES PLANÈTES

INTRODUCTION

L'étude des substances terrestres, exposée au chapitre précédent, bien que très incomplète encore, va cependant nous permettre d'expliquer quelques-uns des résultats relatifs aux planètes.

Au cours de ce dernier chapitre, nous allons chercher, d'abord, à déterminer, pour chaque planète : la nature de son sol, lorsqu'il est directement accessible, puis de ses nuages, lorsque ceux-ci couvrent quelques régions ou même cachent entièrement le sol. Enfin, en nous aidant des résultats acquis, nous chercherons à évaluer, lorsque cela sera possible, l'épaisseur de l'atmosphère située au-dessus de la surface visible, sol ou nuages.

Contrairement aux deux premières parties qui exposent des faits, celle-ci contiendra un certain nombre d'hypothèses rendues nécessaires par l'insuffisance de nos connaissances en ce qui concerne les polarisations produites par les différents corps.

Ainsi que le lecteur s'en rendra compte par lui-même, quelques-unes des conclusions auxquelles nous sommes amenés sont cependant très probables. Les autres constituent de simples indications ; j'ai cru pourtant devoir les mentionner, car elles montrent dans quelles voies les recherches futures devront être orientées. Ce sont des hypothèses de travail.

CHAPITRE VII

LA LUNE

SOL

De nombreuses observations, en particulier celles des occultations d'étoiles, ont montré que notre satellite n'est environné par aucune atmosphère décelable. C'est donc bien la polarisation de son sol que donnent les mesures.

En comparant la courbe lunaire avec celle des diverses substances, on trouve qu'elle présente certains caractères communs à la plupart des solides absorbants : polarisation négative pour les petits angles de vision, passant par un minimum, puis s'inversant et passant par un maximum pour un angle supérieur à 90 degrés.

Elle se distingue, cependant, de celles des minéraux terrestres les plus répandus par les caractéristiques suivantes :

L'angle d'inversion est plus élevé ;

La polarisation négative est plus forte, tandis que la polarisation positive est plus faible ;

Le minimum est atteint pour un angle de vision plus élevé et le maximum pour un angle plus faible.

Parmi toutes les substances étudiées, seules les cendres volcaniques possèdent un ensemble de caractéristiques voisin de celui-ci. Comparons donc leurs propriétés à celles des diverses régions de notre satellite.

Ces cendres sont grises, tantôt nuancées de brun, tantôt bleutées, teintes rappelant, en plus intenses, les faibles colorations que l'on distingue sur les mers lunaires, avec une lunette munie d'un oculaire très lumineux.

Dans la direction de la source, leur albédo, défini comme la brillance rapportée à celle d'un corps blanc parfaitement diffusant, varie de 0,48 à 0,233. Ces chiffres sont du même ordre que ceux des régions les plus sombres et les plus claires de la Lune.

Les courbes des cendres ont une forme qui varie régulièrement en fonction de l'albédo, mais ces variations sont plus importantes que sur la Lune. En allant des plus sombres aux plus claires :

L'angle d'inversion croît, pour les cendres, de 18° à 23° ;

il croît, pour la Lune, de $22^\circ 40'$ à $23^\circ 35'$.

Le minimum varie, sur les cendres, de -16 à -9 millièmes ;

il varie, sur la Lune, de $-12,5$ à -9 millièmes.

Le maximum décroît, sur les cendres, de $+340$ à $+40$ millièmes ;

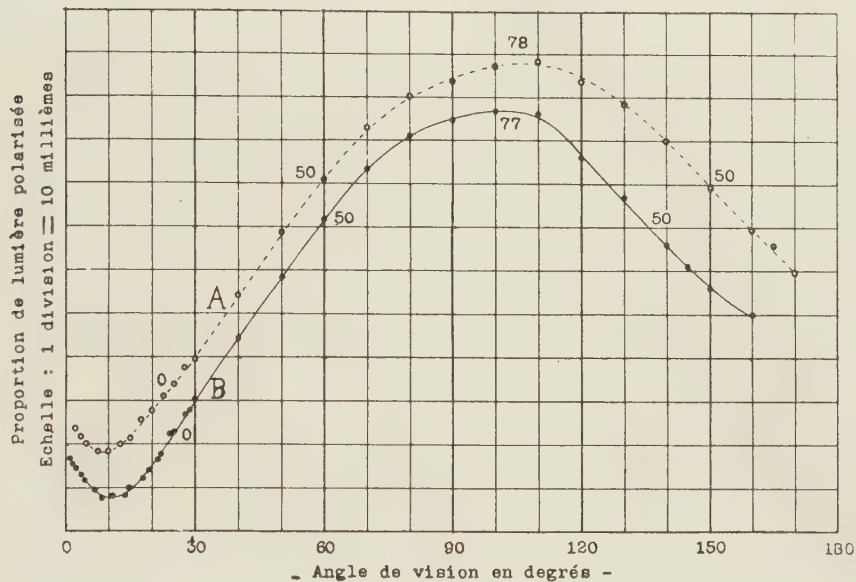
il décroît, sur la Lune de $+200$ à $+48$ millièmes.

L'abscisse du minimum est, pour les cendres, voisin de 8° à 10° ;

elle est, pour la Lune, de 10° .

La courbe A, fig. 51, donne la proportion de lumière polarisée, d'une surface

Fig. 51 - Sol lunaire et cendres volcaniques



A - Mélange de cendres, d'albédo : 0,13

B - Courbe moyenne de la Lune

recouverte, en partie, par une cendre fine, gris-brun, ayant pour albédo 0,166 (courbe E, fig. 42) et, en partie, par une cendre formée de grains noirs et bruns d'albédo 0,051 (courbe I, fig. 43).

Le rapport des aires couvertes par la première et par la seconde cendre a été pris égal à 1,52, afin que la polarisation maximum du mélange soit voisine de celle de la Lune.

Dans ces conditions, l'albédo moyen de la surface est 0,13. Ce chiffre représente, autant qu'on peut en juger, l'albédo moyen de la Lune avec la définition employée dans cet ouvrage ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ La valeur de cette quantité est mal connue : Zöllner donnait 0,17 ; l'*Annuaire du Bureau des Longitudes* indique 0,15 ; l'ouvrage *Astronomy* de Russel, Dugan et Stewart donne, comme valeur moyenne la plus probable de l'éclat de la pleine Lune, rapporté à celui du Soleil, $\frac{1}{465\ 000}$. D'après ce chiffre, on trouve pour l'albédo 0,110.

La courbe B, figure 51, est la moyenne des courbes de la Lune croissante et de la Lune décroissante.

La similitude des courbes A et B apparaît comme très remarquable, si l'on envisage les différences considérables que présentent celles des autres solides.

D'autre part, les cendres volcaniques diffusent, dans la direction de la source, même sous de très fortes incidences, une proportion de lumière polarisée inférieure à celles de toutes les autres substances étudiées. Cette proportion ne dépasse pas 1 millième. Or, j'ai montré (p. 46) que la Lune présente ce phénomène seulement à l'état de traces.

Enfin, le sol lunaire, éclairé obliquement, diffuse beaucoup plus de lumière dans les directions voisines du Soleil que dans les directions opposées. Il en est de même des surfaces recouvertes de poudres mates et, en particulier, de cendres volcaniques.

Toutes ces analogies nous amènent à conclure que la Lune doit être recouverte, à peu près entièrement, de poudres ayant une constitution très voisine de celle des cendres volcaniques terrestres. Ces poudres pourraient être, du reste, en couche très mince.

Les polarisations que j'ai trouvées s'accordent, au contraire, assez mal avec l'opinion actuelle, d'après laquelle la surface du sol lunaire accessible à nos regards serait formée de laves volcaniques (1).

Mercure.

SOL

Je n'ai pas encore pu déterminer toute la courbe de Mercure; cependant la portion connue est très voisine de la moyenne des deux courbes lunaires, supposée tracée en tenant compte des éclats relatifs du premier et du dernier quartier.

La polarisation de Mercure est inférieure à celle de la Lune de moins de 4 millièmes, soit $\frac{1}{20}$ de sa valeur; d'autre part, l'albédo de cette planète est voisin de celui de notre satellite. Il est donc très probable que *le sol de Mercure a la même constitution que celui de la Lune.*

Müller est arrivé à la même conclusion par une voie très différente; cet auteur a écrit (2): « Les courbes de lumière de Mercure et de la Lune, dans l'intervalle de phase compris entre 50° et près de 180°, s'accordent d'une manière étonnante » au point de donner « à la surface de Mercure une nature tout à fait semblable à

(1) BARABASCHEFF, *Astronomische Nachrichten*, t. 229, n° 5473, p. 7, 4 septembre 1926.

(2) MÜLLER, *Astronomische Nachrichten*, 1893, N. 3171.

celle de la Lune ». D'après l'ouvrage : *Astronomy* ⁽¹⁾, l'accroissement de brillance, à la pleine phase, serait un peu plus marqué pour Mercure que pour la Lune.

ATMOSPÈRE

Les mesures de polarisations permettent d'assigner une limite supérieure à l'épaisseur de l'atmosphère de Mercure.

En effet, supposons un instant, ce qui est peu vraisemblable, que la coïncidence de la courbe de cette planète et de celle de la Lune soit un effet du hasard et que les polarisations observées sur Mercure soient dues, en partie à son sol, en partie à une atmosphère transparente.

Soient, vers la dichotomie :

P, la proportion de lumière polarisée apparente de Mercure ;

I₁ et P₁, l'éclat et la proportion de lumière polarisée de son sol (observé à travers l'atmosphère de la planète, supposée non éclairée) ;

I₂ et P₂, l'éclat et la proportion de lumière polarisée de son atmosphère.

Nous avons sensiblement :

$$P = \frac{P_1 I_1 + P_2 I_2}{I_1 + I_2}$$

d'où l'on tire :

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{P - P_1}{P_2 - P} \quad \text{et} \quad (8) \quad \frac{I_2}{I_1 + I_2} = \frac{P - P_1}{P_2 - P_1}.$$

Cherchons quelle peut être la valeur maximum de ce rapport.

L'albédo de Mercure, mesuré vers la pleine phase, est voisin de 0,16 ⁽²⁾. Celui du sol ne peut être qu'égal ou inférieur à ce nombre.

Toutes les substances de teinte aussi foncée, étudiées en laboratoire, possèdent des polarisations maxima supérieures à 40 millièmes. Les diverses régions du sol lunaire se comportent de même. Il est donc peu probable que la polarisation maximum, P₁, du sol de Mercure, soit inférieure à cette valeur. Supposons-la de 40 millièmes, soit 0,04.

Vers le premier quartier, la lumière diffusée par l'atmosphère de la planète doit être fortement polarisée en raison du faible éclat du sol. Fixons la proportion de lumière polarisée à 0,9.

La polarisation apparente, P, de Mercure, mesurée vers le premier quartier, est de 0,073. Avec ces chiffres, la formule 8 donne, pour l'éclat de l'atmosphère rapporté à celui de la planète, la valeur :

$$\frac{0,073 - 0,04}{0,9 - 0,04} = 0,038$$

⁽¹⁾ RUSSEL, DUGAN et STEWART, 1927.

⁽²⁾ L'*Annuaire du Bureau des Longitudes* indique 0,16 et Russel donne 0,164.

Supposons cette atmosphère formée d'air pur et sec, entièrement dépourvu de poussières. La formule de Lord Rayleigh, étendue au cas de molécules anisotropes et vérifiée au moyen de plusieurs méthodes par Cabannes ⁽¹⁾, permet de calculer l'intensité lumineuse d'un centimètre cube d'air.

Soient :

J, l'intensité lumineuse d'un centimètre cube d'air à 0° et 760 millimètres, éclairé en lumière parallèle, intensité mesurée normalement aux rayons incidents ;

φ , le flux lumineux qu'il reçoit ;

λ , la longueur d'onde de la lumière ;

n , l'indice de réfraction de l'air ;

m , le nombre de molécules par centimètre cube ;

ρ , le rapport d'intensité des composantes de la lumière diffusée vibrant parallèlement et normalement aux rayons incidents.

La formule donne :

$$\frac{J}{\varphi} = \frac{\pi^2(n^2 - 1)^2}{2m\lambda^4} \frac{6 + 6\rho}{6 - 7\rho}.$$

Prenons :

$$\lambda = 0,55 \cdot 10^{-4}$$

Nous avons :

$$n = 0,000\ 2926$$

et :

$$m = \frac{65 \cdot 10^{22}}{23\ 300} = 2,9 \cdot 10^{19}.$$

Les mesures de Cabannes donnent $\rho = 0,04$, d'où l'on tire :

$$\frac{J}{\varphi} = 7,15 \cdot 10^{-9}.$$

Soit B la brillance d'un écran blanc, parfaitement diffusant, normal aux rayons éclairant le gaz. Nous avons : $\varphi = \pi B$. La brillance d'une couche d'air de 1 centimètre d'épaisseur, examinée normalement, est donc $7,15 \cdot 10^{-9} \times \pi = 2,25 \cdot 10^{-8}$ fois celle d'un tel écran.

La brillance moyenne de Mercure à la pleine phase, rapportée à celle d'un écran semblable, est environ 0,16 (albédo de Zöllner). Elle décroît plus vite que ne l'indique la loi de Lambert.

A la phase dichotome, d'après cette loi, elle serait réduite au tiers. Les mesures d'éclat conduisent au chiffre de $\frac{1}{8}$. La brillance moyenne de Mercure au premier quartier est donc :

$$\frac{0,16}{8} = 2 \cdot 10^{-2}.$$

(1) CABANNES, *Journal de physique*, novembre 1920.

La brillance moyenne de son atmosphère, comme nous l'avons vu, ne dépasse pas les $\frac{58}{1\,000}$ de cette valeur. Vers le centre de la planète, où la couche gazeuse se présente normalement, sa brillance est encore deux fois plus faible. Soit au maximum : $2 \cdot 10^{-2} \times 19 \cdot 10^{-3} = 38 \cdot 10^{-5}$ fois celle d'un écran parfaitement diffusant.

Elle est donc, au plus, égale à celle d'une couche d'air optiquement pur de

$$\frac{38 \cdot 10^{-5}}{2,25 \cdot 10^{-8}} = 16,9 \cdot 10^3 \text{ centimètres,}$$

soit 169 mètres pris à 0° et 760 millimètres.

Si l'atmosphère de Mercure possède une composition analogue à celle de notre air, son épaisseur ne doit pas dépasser les $\frac{169}{8\,000}$, soit les 21 millièmes de celle de l'atmosphère terrestre ⁽¹⁾. La présence de fines particules ou de vapeur d'eau abaisserait encore cette limite.

D'autre part, conformément aux vues de Johnstone Stoney ⁽²⁾, les gaz peu diffusants, hélium et hydrogène, ne sauraient rester sur Mercure en quantités importantes, à cause de leurs faibles densités et de la petite masse de la planète.

NUÉES

La régularité des variations subies par la polarisation de Mercure et la similitude parfaite de ces phénomènes avec ceux de la Lune, tendent à prouver qu'aucune partie importante de la surface de Mercure n'a été recouverte de nuages comparables à ceux de la Terre, pendant la série des mesures effectuées sur cette planète.

En effet, supposons d'abord qu'il ait existé, sur le croissant de Mercure, une nébulosité formée de gouttelettes analogues à celles des nuages terrestres, diffusant seulement la millième partie de la lumière que le croissant reçoit du Soleil, soit, environ, la vingtième partie de la lumière que Mercure nous envoie vers sa plus grande élongation.

En nous reportant à la courbe B de la figure 46, nous voyons que la polarisation d'un tel nuage varie très rapidement : pour un angle de vision de 90°, elle dépasse celle de Mercure de 250 millièmes et, pour un angle de 115°, elle lui est, au contraire, inférieure de 170 millièmes.

⁽¹⁾ Une enveloppe atmosphérique encore plus faible pourrait être décelée en comparant la polarisation du terminateur de Mercure vers le centre et près des cornes, mais, au cours des observations effectuées, les images étaient généralement trop mauvaises pour permettre cette comparaison.

⁽²⁾ Of Atmospheres upon Planets and Satellites, *Scientific transactions of the Royal Dublin Society*, november 1897.

En divisant ces chiffres par 20, nous obtenons sensiblement les quantités dont le nuage altérerait la polarisation de Mercure pour ces deux angles de vision : il accroîtrait celle-ci de 12 millièmes, dans le premier cas, et la diminuerait de 8 millièmes, dans le second. La présence d'une nébulosité très petite ou très transparente, formée de gouttelettes analogues à celles de nos nuages, suffirait donc pour déformer sensiblement la courbe de polarisation de Mercure.

D'après les courbes C et D de la figure 47, on voit que des gouttelettes d'eau plus fines auraient une influence encore importante. Il en serait de même pour des cristaux de glace tels que ceux de la courbe E de la figure 47.

Les gouttelettes diminueraient la polarisation, les cristaux de glace l'accroîtraient. La similitude des courbes de la Lune et de Mercure ne serait plus alors qu'un effet du hasard, ce qui est évidemment improbable.

D'autre part, il est très difficile d'admettre l'existence d'eau à l'état liquide et, *a fortiori*, à l'état solide sur Mercure. Le côté tourné vers le Soleil ⁽¹⁾ possède, sans doute, une température très élevée, car il reçoit, sans interruption, de l'astre central, un rayonnement de quatre à sept fois supérieur à celui qui nous parvient du Soleil pendant la journée. Cette circonstance doit empêcher la formation de cristaux de glace.

D'autre part, pour qu'il y ait sur Mercure de l'eau à l'état liquide, il faudrait que la pression atmosphérique, au niveau du sol, dépassât 4 millimètres. Comme la pesanteur, à la surface de Mercure, est les $\frac{4}{10}$ de la nôtre, ce chiffre représente une masse d'atmosphère par unité de surface supérieure à $\frac{1}{76}$ de celle de la Terre.

Cette quantité est voisine de la limite que nous avons trouvée page 145 ; mais, dans ces conditions, l'atmosphère de Mercure contiendrait une forte proportion de vapeur d'eau et l'on sait, d'après les mesures de Fowle, que ce gaz, lorsqu'il est mélangé à l'air en petite quantité, se comporte comme si son pouvoir diffusant était environ soixante fois plus élevé que celui de l'air pur ⁽²⁾.

L'atmosphère de Mercure devrait alors nous envoyer une quantité de lumière polarisée tout à fait incompatible avec les observations.

Des plages blanchâtres, variables à la fois comme intensité et comme position, ont cependant été observées à plusieurs reprises sur Mercure par Schiaparelli et leur existence a été vérifiée dernièrement par Antoniadi. Si ces plages sont des nuages, il faudrait supposer ces nuages formés de grains de poussière détachés du sol de Mercure et assez gros par rapport aux ondes lumineuses.

⁽¹⁾ La rotation de Mercure sur lui-même, en un temps égal à celui de sa révolution autour du Soleil, découverte par Schiaparelli, a été confirmée dernièrement par les remarquables observations d'Antoniadi.

⁽²⁾ CABANNES, *L'Astronomie*, octobre 1924, p. 47c.

Mars

SOL

Le sol de Mars est plus difficile à caractériser que celui de la Lune, à cause des nuées dont il se couvre assez fréquemment. Cependant, ainsi que nous l'avons vu au chapitre III, même lorsque ces voiles sont invisibles, leur présence peut encore être décelée par des irrégularités dans la courbe de polarisation et par des différences marquées entre les bords et le centre de la planète.

D'après mes observations de 1922, il semble bien que Mars ait été dépourvu, en très grande partie, de nuages, entre le 11 juin, date de l'opposition, et le 30 juillet. Les polarisations trouvées pendant cette période se rapportent donc, vraisemblablement, soit au sol même de la planète, soit à l'ensemble de son sol et de son atmosphère.

La portion de courbe antérieure au 30 juillet va jusqu'à l'angle de vision de 36° ; elle est presque identique à celle de l'ensemble de la Lune. Vers le minimum, elle passe à 1,5 millième au-dessus de celle de notre satellite, puis, pour des angles croissants, ces deux courbes se rapprochent et se confondent à 1 millième près.

On obtiendrait un accord plus étroit en comparant le sol de Mars à quelques « terres » lunaires dont il possède, à peu près, l'albédo. Le sol observé était, en grande partie, continental, car le centre du disque occupait les latitudes comprises entre $+ 6^\circ$ et $+ 10^\circ$ et l'on sait que les « mers » sont rares dans ces régions.

Cette concordance des deux courbes est très remarquable et peut difficilement être attribuée à un simple hasard. Les choses se passent comme s'il existait, à la surface des continents martiens, une poussière analogue à celle qui doit couvrir les terres de la Lune.

La constitution des « mers » de Mars est plus difficilement accessible : les plus étendues ont souvent paru pâles au cours de mes observations et leur polarisation a peu différé de celle des continents. Peut-être possèdent-elles une végétation trop clairsemée pour cacher le sol. D'autre part, les plus intenses sont petites, ce qui rend difficile l'étude de leur polarisation.

La calotte polaire australe a montré fréquemment une polarisation beaucoup plus forte que celle des neiges terrestres, mais celle-ci pouvait se trouver accrue par l'obliquité des rayons diffusés vers la Terre et les observations n'ont pas permis de définir la part due à cette obliquité.

Les variations irrégulières qu'a subies la polarisation rendent probable l'existence assez fréquente de nuages au-dessus de cette calotte.

Les taches blanchâtres persistantes : Nix Atlantica et Nix Olympica, que l'on voit sous les tropiques, ont une situation beaucoup plus favorable pour détermi-

ner leur nature. J'ai observé fréquemment Nix Olympica en 1926, mais cette tache était trop petite pour qu'on pût en mesurer la polarisation.

Par contre, certaines blancheurs apparues au bord levant, sur Thyle II et Aonius sinus, pourraient être formées de corpuscules transparents, tels que la gelée blanche, car, examinées très obliquement, elles présentaient, comme la neige terrestre, une polarisation assez forte par réfraction. Des nuages ne donneraient aucune polarisation dans ces conditions.

Les continents de Mars, comme ceux de la Lune, ne montrent pas, en général, ce phénomène. Je l'ai observé cependant une fois sur Arcadia, au bord levant. Cette région pouvait se trouver couverte d'un dépôt de gelée blanche, trop légère pour trancher nettement sur la teinte du sol. Les taches sombres qui présentent cette polarisation des rayons diffusés très obliquement pourraient être couvertes, comme nos pelouses, de végétaux allongés dans le sens vertical. Tel serait, peut-être, le cas de Mare Chronium et des mers polaires environnantes ; mais, malheureusement, le nombre restreint d'observations ne permet pas de conclure, d'une façon décisive, en faveur des hypothèses en question.

ATMOSPHÈRE

Pour avoir une limite supérieure de l'atmosphère de Mars, nous allons supposer, comme pour Mercure, que la coïncidence de la courbe de Mars et de celle de la Lune est fortuite et que les polarisations observées sont dues, en partie au sol de Mars, en partie à une atmosphère transparente.

Appliquons d'abord la formule 8, page 143. Sous un angle de vision de 40° , lorsque cette atmosphère est bien pure, la polarisation P de Mars atteint 25 millièmes.

Son albédo à la pleine phase, un peu plus élevé que celui de Mercure, doit être de l'ordre de 0,2 ⁽¹⁾.

Les substances de teintes voisines qui ont donné les plus faibles polarisations sous un angle de 40° , sont des cendres volcaniques. Les chiffres trouvés sur ces substances ne descendent pas au-dessous de 13 millièmes. La polarisation réelle, P_1 , des continents, n'est sans doute pas inférieure à cette valeur.

La polarisation P_2 d'une atmosphère transparente, supposée éclairée seulement par le Soleil est égale à :

$$\frac{1 - \cos^2 40^\circ}{1 + \cos^2 40^\circ} = 0,26.$$

⁽¹⁾ Cette quantité est très mal connue. Zöllner donne 0,267. Les mesures de l'éclat de Mars, rapporté à celui du Soleil, faites par Zöllner et Seidel (*Photometrische Untersuchungen*, Leipzig, 1865) conduisent au chiffre 0,17. L'*Annuaire du Bureau des Longitudes* donne 0,25. Dernièrement, Russel a calculé cette quantité d'après l'éclat de Mars, mesuré à la quadrature ; il a trouvé 0,139.

Vers le centre du disque, la lumière de l'atmosphère, rapportée à celle de la planète, est donc, au maximum :

$$\frac{0,025 - 0,013}{0,26 - 0,013} = 0,049$$

soit, au plus, le vingtième de la lumière que diffuse le sol continental vers la quadrature.

La brillance de ce sol est alors environ 0,2 fois celle d'un écran parfaitement diffusant, éclairé normalement. Celle de l'atmosphère est donc inférieure ou égale à 0,05 . 0,2, soit au centième de celle d'un tel écran.

Ainsi que nous l'avons vu (p. 144), la brillance d'une couche d'air de 1 centimètre d'épaisseur, examinée normalement et éclairée normalement au rayon visuel, est représentée par le chiffre $2,25 \cdot 10^{-8}$.

Sous l'angle de vision de 40° elle serait :

$$2,25 \cdot 10^{-8} (1 + \cos^2 40^\circ) = 4 \cdot 10^{-8}.$$

Le pouvoir diffusant de l'atmosphère de Mars est donc, au plus, égal à celui d'une couche d'air pur et sec de :

$$\frac{10^{-2}}{4 \cdot 10^{-8}} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ centimètres, soit } 2\,500 \text{ mètres d'épaisseur.}$$

Il est inférieur au tiers de la valeur minimum atteinte par notre atmosphère, lorsqu'elle est très pure.

Ce chiffre est encore probablement trop élevé. Dans les conditions indiquées, lorsqu'il n'y a pas de nuées sur le disque, la polarisation des bords, mesurée vers la quadrature sur une largeur de 1 seconde d'arc, devrait excéder celle du centre d'environ 15 millièmes.

Sauf en certains points où des blancheurs étaient visibles, je n'ai observé aucun phénomène de ce genre. Si un renforcement au bord existe, il est probablement inférieur au cinquième de cette valeur.

Ce fait limite l'atmosphère de Mars au quinzième de la nôtre ⁽¹⁾.

Si elle est formée d'oxygène ou d'azote, par suite de la faiblesse de la pesanteur sur cette planète, la pression au sol serait inférieure à 18 millimètres de mercure. Cette limite ne s'oppose pas à l'existence d'eau liquide à la surface de Mars.

(1) Pour admettre une atmosphère plus épaisse, il faudrait supposer, soit qu'elle est formée de gaz faiblement diffusants, c'est-à-dire d'hydrogène ou d'hélium, soit que, même lorsqu'elle est pure, elle contient des brumes qui ramènent sa polarisation à une valeur voisine de celle du sol. Ces deux hypothèses sont évidemment très peu vraisemblables.

NUÉES

Brumes générales. — Comme nous l'avons vu page 53, les brumes qui ont envahi la planète, au milieu de décembre 1924, ont eu pour effet de diminuer considérablement la polarisation.

Des altérations de même sens, mais plus faibles, ont eu lieu en 1922 et en 1925, vers les quadratures, pour des angles de vision supérieurs à une trentaine de degrés. Ces altérations paraissent dues également à des brumes assez légères pour échapper à la simple observation.

Pour les angles de vision de 30 à 45 degrés, la lumière diffusée par ces brumes aurait une polarisation très différente de celle du sol, en général positive très faible, ou même légèrement négative.

Aucun des nuages étudiés jusqu'à présent ne possède cette polarisation. Il serait intéressant de la rechercher sur des cristaux de glace ou des grains de poussière de plus en plus fins.

Nuages locaux. — Certaines blancheurs qui apparaissent au bord de Mars ont, ainsi que nous l'avons indiqué, une polarisation particulière, semblable à celle de la gelée blanche.

D'autres polarisent, au contraire, la lumière dans un plan parallèle ou normal au plan de vision. Elles sont observables même lorsque Mars est entièrement couvert de brumes. Ce sont donc des nuages élevés, comme l'a indiqué Antoniadi. Les plus blanches sont les plus fortement polarisées.

Pour les angles de vision d'une quarantaine de degrés, elles présentent des polarisations très variées, souvent positives et fortes, quelquefois négatives, ce qui semble montrer qu'elles sont formées d'éléments de grosseurs différentes.

Vénus.

NUÉES

La courbe de polarisation obtenue sur Vénus diffère à tous égards de celles des solides, tandis que ses nombreux points d'inversion la rapprochent, au contraire, de celles des nuages de gouttelettes.

Cette circonstance, jointe à l'éclat élevé et uniforme de Vénus, amène à considérer la planète comme entièrement couverte de nuées. Nous ne pouvons donc pas connaître la constitution de son sol ; en revanche, nous allons essayer de déterminer celle de la couche nuageuse qui l'enveloppe.

Examinons les courbes relatives à des nuages transparents, données dans ce

mémoire, figures 46 et 47, page 130, et les indications obtenues par Sorét sur des nuages opaques (voir page 97). Nous voyons qu'il est impossible de rendre compte des phénomènes observés sur Vénus, avec des gouttelettes aussi grosses que celles des nuages terrestres.

Lorsqu'on diminue le diamètre des gouttes, les divergences s'atténuent. La courbe D, figure 47, relevée sur les gouttes les plus fines, présente deux maxima et un minimum ayant mêmes abscisses que ceux de la courbe de Vénus, ainsi que trois points d'inversion dont deux se retrouvent exactement sur la courbe de cette planète.

Par contre, la polarisation de notre nuage artificiel, bien que très inférieure à celle de gouttes plus grosses, est encore beaucoup plus forte que celle de Vénus.

Voyons ce qu'elle deviendrait si nous pouvions augmenter l'épaisseur ou la densité du nuage, jusqu'à ce qu'il devienne entièrement opaque.

D'après les indications fournies par l'étude des colloïdes (pages 125 à 138), en première approximation, la courbe conserverait sa forme avec des ordonnées trois à quatre fois plus petites. Elle a été tracée en pointillé (fig. 12), à côté de celle de Vénus, en divisant ses ordonnées par 3,5.

La similitude de ces deux courbes se montre très remarquable, si l'on considère à quel point celles des autres gouttes étudiées diffèrent entre elles.

Nous pouvons, cependant, pousser l'analogie encore un peu plus loin : la lumière diffusée par les gouttes augmente considérablement d'intensité lorsque l'observateur se déplace vers l'opposé de la source. Sa polarisation doit donc être moins réduite par les diffusions multiples, sous de grands angles de vision, que sous de petits angles, ce qui rendrait notre courbe plus voisine de celle de Vénus.

De plus, les gouttes diffusant beaucoup de lumière polarisée négativement, les rayons recueillis à 45 degrés de la source, après deux déviations successives, devraient avoir, semble-t-il, en majorité, une polarisation négative, ce qui diminuerait l'angle d'inversion principal en le rapprochant de celui de Vénus.

La polarisation de Vénus paraît donc être sensiblement celle de nuages opaques dont les couches les plus élevées seraient formées de gouttelettes très fines, un peu supérieures en diamètre à 2 microns ⁽¹⁾ et dont l'indice serait voisin de celui de l'eau.

L'existence, sur cette planète, de particules aussi fines est confirmée par le fait que, lorsque l'angle de vision croît et dépasse 160° environ, la brillance du croissant augmente au lieu de diminuer comme le voudrait la loi de Lambert.

(1) Il serait très important de vérifier cette conclusion d'une manière plus directe, en réalisant un tel nuage en laboratoire, avec une solution colloïdale formée de grains en suspension dans l'eau, dont l'indice, par rapport à l'eau, serait 1,33. Ces grains pourraient être formés d'une solution de phosphore blanc dans le sulfure de carbone, par exemple.

La régularité des variations subies par la polarisation de Vénus et la faiblesse des différences qu'elle présente d'un point à l'autre semblent prouver que la nature des nuages qui recouvrent la planète est, à très peu près, la même sous toutes les latitudes et ne se modifie pas d'une année à l'autre. Ce fait, très remarquable, s'accorde bien avec les mesures radiométriques effectuées dernièrement au Mont Wilson, par Pettit et Nicholson, d'après lesquelles la température de Vénus serait très uniforme. Les différences que présentent la proportion de lumière polarisée du terminateur ou des cornes et celle du limbe sont facilement explicables : en effet, vers le bord intérieur du croissant, le Soleil doit éclairer seulement la partie extérieure des nuages qui peut différer des couches plus profondes. Il n'en est pas de même pour les déviations du plan de polarisation observées dans les cornes. La cause de ce phénomène curieux nous échappe.

ATMOSPHÈRE

La présence continuelle de nuées autour de Vénus rend inaccessibles les couches basses de son atmosphère. D'autre part, il est difficile d'évaluer quelle peut être l'épaisseur de la partie située au-dessus des nuages. Il faudrait, pour cela, connaître la polarisation véritable des nuages de Vénus, abstraction faite de l'atmosphère.

D'après les résultats obtenus sur les gouttelettes d'eau et la faiblesse des différences que présentent les bords et le centre de la planète, on peut admettre comme très vraisemblable que, vers la dichotomie, la polarisation réelle des nuages ne s'écarte pas de plus de 10 millièmes de celle qui a été observée vers le centre de la planète.

En appliquant la formule 8, page 143, il faudrait prendre $P - P_1$ égal au plus à 0,01.

D'autre part, $P_2 - P_1$ est voisin de 1.

En prenant pour la brillance moyenne de Vénus le tiers de celle d'un écran blanc éclairé normalement, on trouve finalement que le pouvoir diffusant de l'atmosphère de Vénus doit être, au maximum, égal à celui d'une couche d'air pur de :

$$\frac{1}{300 \cdot 2,25 \cdot 10^{-8}} = 1,48 \cdot 10^5 \text{ centimètres.}$$

soit environ 1 500 mètres d'épaisseur.

La pression barométrique serait inférieure au cinquième de celle qui règne à la surface de la Terre. Elle pourrait encore suffire pour la formation de nuages aqueux.

Cette évaluation, dépourvue de base précise, doit être considérée comme une simple indication.

Jupiter.

NUAGES

La portion connue de la courbe de polarisation de Jupiter étant très courte, il est difficile de préciser la nature des bandes nuageuses dont la planète se trouve entourée. Notons, cependant, que cette courbe représente des polarisations très faibles et différentes de celles des brouillards étudiés.

De nouvelles expériences seraient nécessaires ; elles devraient porter, principalement, sur des brouillards formés de cristaux de glace dont on ferait varier le diamètre.

Nous avons vu, page 76, que la polarisation des deux bords équatoriaux de Jupiter diffère systématiquement et qu'elle est toujours plus forte en valeur algébrique au bord Est qu'au bord Ouest. Ce phénomène ne semble pouvoir être attribué qu'à une influence de rayonnement solaire sur la couche nuageuse supérieure de Jupiter. L'altitude ou la transparence de celle-ci se modifierait pendant la journée.

ATMOSPHÈRE

L'accroissement de polarisation observé aux bords équatoriaux de Jupiter semble, au premier abord, indiquer la présence d'une atmosphère épaisse au-dessus des nuages.

Pour produire ce phénomène malgré la faiblesse de l'angle de vision, l'atmosphère considérée devrait avoir un pouvoir diffusant très élevé, analogue à celui de l'atmosphère terrestre par beau temps. La lumière provenant des bords de Jupiter serait alors fortement polarisée dans un plan parallèle à ces bords, par un mécanisme analogue à celui qui donne naissance aux points neutres et à la polarisation horizontale que l'on observe sur notre globe, dans la direction opposée au Soleil.

Dans les régions équatoriales de Jupiter, il n'en est pas ainsi, puisque le plan de polarisation des bords Est et Ouest est toujours à peu près normal à ces bords et que leur proportion de lumière polarisée s'annule à l'opposition. Les bandes nuageuses ne sont donc pas entourées d'une atmosphère épaisse. L'accroissement de polarisation observé doit tenir à d'autres causes ; citons, par exemple, la diminution de transparence des couches nuageuses lorsqu'on les observe très obliquement.

Les curieuses polarisations que présentent les calottes polaires s'accorderaient, au contraire, très bien avec la présence, au-dessous des nuages, d'une atmosphère

épaisse ou fortement diffusante. Leur lumière, souvent bleutée, proviendrait, en grande partie, de cette atmosphère et sa polarisation, dans un plan parallèle au bord, serait produite par le mécanisme indiqué plus haut. L'atmosphère serait voilée progressivement vers l'équateur, ce qui occasionnerait la décroissance observée de la polarisation.

Dans cette hypothèse, la polarisation des calottes devrait augmenter vers la quadrature, car il s'y ajoute celle des rayons directement diffusés. L'augmentation produite pour l'angle de vision de $11^{\circ}40'$ serait de 21 millièmes, si toute la lumière des calottes provenait des rayons solaires directs diffusés seulement par l'atmosphère.

Il n'en est pas ainsi, par suite des diffusions multiples et des brumes qui voilent progressivement les calottes vers l'équateur. C'est vers le pôle que l'influence de l'angle de vision est le plus sensible ; il est peu probable qu'elle atteigne la moitié du chiffre calculé, soit 10 millièmes.

Dans ces conditions, il paraît difficile de constater cette influence, à cause des variations irrégulières que subit l'état des calottes polaires. L'ensemble des observations est plutôt favorable à notre hypothèse, sans permettre cependant de la confirmer.

Saturne.

NUAGES

Il est encore plus difficile de connaître la nature des bandes nuageuses de Saturne que celle des bandes de Jupiter, car les premières sont, en général, très pâles et paraissent fortement voilées.

Notons, cependant, que la zone blanchâtre qui est apparue dans l'hémisphère Nord, entre le 9 juin et le 7 juillet 1924, a présenté une polarisation semblable à celle des nuages de Jupiter.

ATMOSPHÈRE

La partie très faible de la courbe de polarisation de Saturne, qui nous est accessible, est, à peu près, celle d'un gaz transparent observé sur un fond obscur.

Il est cependant difficile d'attribuer les polarisations trouvées à l'atmosphère de Saturne. Celle-ci devrait, en effet, diffuser beaucoup de lumière pour expliquer l'albédo élevé de la planète. Dans ce cas, les diffusions multiples produiraient en tout temps, près des bords, une forte polarisation parallèle à ces bords. Cet effet n'existe, au contraire, que vers les pôles dont les curieux phénomènes seraient explicables de la même façon que pour Jupiter,

Les changements très importants de la polarisation, observés sur la calotte Sud, paraissent produits par des brumes dont l'opacité serait variable.

Anneaux de Saturne.

ANNEAU INTÉRIEUR (B)

Le plan de polarisation de l'anneau brillant, intérieur à la division de Cassini, est, comme nous l'avons dit, toujours perpendiculaire au plan de vision. Sa polarisation est due, par conséquent, à la simple diffusion de la lumière qu'il reçoit directement du Soleil.

La courbe de polarisation (fig. 22) est très différente de celle de la Lune et de Mars. L'angle d'inversion est beaucoup plus faible (environ 8° au lieu de 24°) et le minimum négatif est atteint pour $0^\circ 50'$, au lieu de 10° environ.

Je n'ai étudié qu'un petit nombre de solides sous des angles aussi faibles. Cependant, les mesures faites à partir de 2 degrés permettent de voir que la courbe de l'anneau intérieur est semblable à celle de nombreux minéraux non pulvérisés, en particulier à celles qui ont été obtenues sur les cassures de laves et de granits.

Cette courbe diffère, par contre, beaucoup plus de celles des laves pulvérisées et des cendres. Il semble donc, d'après cela, que l'anneau intérieur brillant de Saturne n'est pas formé d'une poudre très fine, mais plutôt de blocs plus ou moins gros.

L'étude des minéraux très clairs, examinés sous de très faibles angles de vision, fournirait des données plus précises sur la nature des roches dont il est formé.

ANNEAU EXTÉRIEUR (A)

Les phénomènes observés sur l'anneau extérieur paraissent très complexes ; il est, en effet, très difficile d'expliquer les différences remarquables que les deux anses présentent entre elles.

J'ai cherché cependant s'il est possible de rendre compte de leurs polarisations en les supposant produites par deux causes qui agiraient simultanément :

1^o La simple diffusion des rayons que les deux anses reçoivent directement du Soleil.

2^o La diffusion des rayons qu'elles reçoivent de l'hémisphère éclairé de Saturne ou bien encore les diffusions ou les réflexions multiples qui pourraient se produire entre les alignements de blocs dont l'anneau est vraisemblablement constitué.

La première cause donnerait naissance à une polarisation identique sur les deux anses, soit dans un plan passant par le Soleil, soit dans un plan perpendiculaire (le dernier cas étant le plus probable),

La deuxième cause pourrait produire, sur les deux anses, des polarisations différentes, mais, par raison de symétrie, les proportions de lumière polarisée seraient nécessairement les mêmes et les plans de polarisation seraient symétriques par rapport à l'axe de Saturne et de ses anneaux.

Tentons de vérifier cette hypothèse en considérant les polarisations trouvées sur chacune des deux anses de l'anneau externe comme résultant du mélange :

1° D'une lumière A, ayant sur chaque anse la même intensité, la même proportion de lumière polarisée et le même plan de polarisation normal au plan passant par le Soleil.

2° D'une lumière B_p pour l'anse précédente, B_s pour l'anse suivante, ayant, de part et d'autre, la même intensité et la même proportion de lumière polarisée, mais des plans de polarisation différents et quelconques.

Moyennant ces conventions, on peut obtenir, avec une construction très simple ⁽¹⁾, les quantités de lumière polarisée Q_A et Q_B que doivent contenir les

TABLEAU XVI

Polarisations composantes de l'anneau extérieur.

	Date	V	X	Q _A	Q _B	B _p	B _s	α
1925	5 mai	0°31' E	141°	4,5	3,7	19°	109°	2°
	3 juin	3 19	112	6,1	3,2	19	45	1
	15	4 16	111	6	2,1	10	59	1
1926	19 juin	3 30	109	7,1	1,4	3	93	3
1927	14 mai	1 14	90	5,6	3,8	8	110	4
	24	0 16	50	2,7	4,5	39	90	4
	26	0 12	0	1,3	3,6	11	96	4

V : angle de vision.

X : angle de position du plan de vision.

Q_A : proportion de lumière polarisée due aux rayons solaires directs.

Q_B : proportion de lumière polarisée due à une cause inconnue.

B_p et B_s : angle de position de la polarisation hypothétique, pour l'anse précédente et l'anse suivante.

α : angle de position de l'axe de Saturne.

(1) La polarisation résultante peut être obtenue en composant des vecteurs dont les longueurs sont proportionnelles aux quantités de lumière polarisée élémentaires et faisant, avec une origine fixe, des angles doubles des angles de position de leurs plans de polarisation, toutes ces quantités étant supposées connues.

La longueur du vecteur résultant représente la quantité totale de lumière polarisée et l'angle qu'il fait avec le vecteur origine est égal au double de l'angle de position du plan de polarisation.

Cette propriété peut être démontrée de la manière suivante :

Supposons n lumières d'intensités $i_1, i_2, i_3 \dots i_n$ partiellement polarisées avec des proportions $p_1, p_2, \dots, p_n$, les angles de position des plans de polarisation étant $\alpha_1, \alpha_2 \dots \alpha_n$.

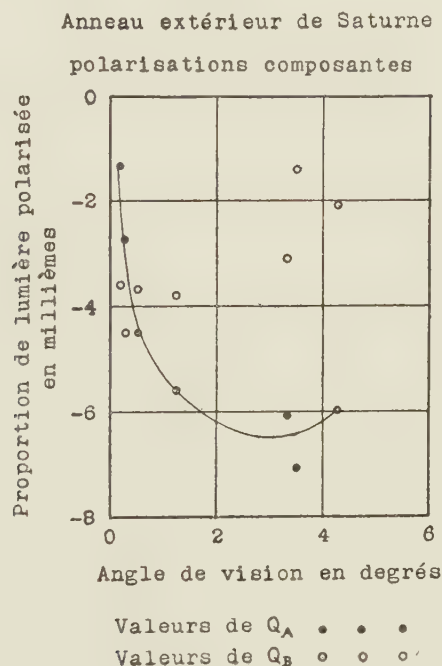
Soit β l'angle de position du plan principal du polarimètre. Suivant ce qui a été démontré cha-

lumières A et B, rapportées à la lumière totale et les plans de polarisation B_P et B_S .

Les valeurs obtenues pour ces quantités ont été portées sur le tableau XVI.

La courbe 52 représente les variations des quantités Q_A et Q_B , en fonction de l'angle de vision. Comme la lumière venant de Saturne est négligeable vis-à-vis

Fig. 52



des rayons solaires directs, la quantité Q_A représente sensiblement ce que serait, dans notre hypothèse, la polarisation de l'anneau extérieur due à la simple diffusion des rayons solaires.

La courbe correspondante est analogue à celle de l'anneau intérieur et à
pitre 1, page 15, chacune d'elle agit sur le polarimètre comme si elle était polarisée dans son plan principal, avec une proportion :

$$p_1 \cos (2\alpha_1 - 2\beta) \quad p_2 \cos (2\alpha_2 - 2\beta) \dots$$

et, par conséquent, comme si elle contenait la quantité de lumière polarisée :

$$p_1, i_1 \cos (2\alpha_1 - 2\beta) \quad p_2 i_2 \cos (2\alpha_2 - 2\beta).$$

L'ensemble de la lumière d'intensité $i_1 + i_2 + \dots + i_n$ agit sur le polarimètre comme s'il contenait une quantité de lumière polarisée.

$$p_1 i_1 \cos (2\alpha_1 - 2\beta) + p_2 i_2 \cos (2\alpha_2 - 2\beta) + \dots$$

ayant pour mesure la projection, sur le plan principal du polarimètre, de la résultante des vecteurs ayant pour longueur $p_1 i_1 \dots$ et pour direction $2\alpha_1 \dots$. Soit PI la longueur de cette résultante et $2\alpha_0$ son angle de position.

Ceci étant vrai, quel que soit β , la lumière totale se comporte donc comme si elle contenait une quantité de lumière polarisée PI , l'angle de position de son plan de polarisation étant α_0 .

celles de nombreux solides. La quantité Q_B devrait rester constante dans notre hypothèse ; elle paraît avoir décréu lentement, de 4 à 2 millièmes, lorsque l'angle de vision croissait.

D'autre part, le tableau montre que les plans de polarisation B_p et B_s sont loin d'être symétriques par rapport à l'axe de Saturne. L'angle de position de leur bissectrice varie entre 24° et 55° , tandis que celui de l'axe de Saturne est resté compris entre 3° et 5° .

Malgré la vraisemblance de la courbe calculée, donnant la proportion de lumière polarisée que devraient produire les rayons solaires directs, notre hypothèse ne suffit pas pour rendre compte des phénomènes observés. Elle entraîne, en effet, la conséquence suivante :

Si l'on mesure la polarisation de l'anneau extérieur en orientant le polarimètre de manière que son plan principal soit parallèle ou normal à l'axe de Saturne, on doit trouver les mêmes valeurs sur les deux anses.

J'ai effectué cette expérience à de nombreuses reprises et j'ai trouvé des valeurs différentes, souvent même de signes contraires ; celles-ci ne changeaient pas lorsqu'on retournait le polarimètre de 180° .

Cette dissymétrie manifeste est très surprenante, puisque la rotation de l'anneau transporte sans cesse, d'une anse à l'autre, la matière dont il est formé ⁽¹⁾.

L'anneau extérieur de Saturne apparaît donc comme le siège de phénomènes encore très mystérieux. Des mesures nombreuses et d'une très grande précision seraient nécessaires pour permettre de déterminer leurs causes avec quelque certitude.

Il serait intéressant, en particulier, de rechercher si la polarisation de l'anneau extérieur s'annule au moment des oppositions exactes, lorsque l'angle de vision devient inférieur au demi-diamètre apparent du Soleil vu de Saturne. Cette condition se trouve réalisée une fois tous les quinze ans, pendant six heures au maximum ; il en sera ainsi en juillet 1931.

(1) Il pourrait se faire, cependant, que les parties visibles des deux anses de l'anneau extérieur n'eussent pas la même surface.

Supposons, par exemple, le cas d'un anneau formé de corpuscules tournant sur eux-mêmes comme la plupart des satellites, de manière à présenter toujours la même face à la planète. Le côté avant de ces corps pourrait avoir subi, par exemple sous le choc de météorites, des altérations qui le rendraient différent du côté arrière. Il semble difficile d'expliquer autrement les différences d'aspect que présentent, parfois, les deux anses de l'anneau extérieur.

CONCLUSION

Après avoir exposé les recherches faites, les résultats obtenus et les conséquences qu'ils peuvent entraîner, le moment semble venu de jeter un regard en arrière et de chercher une vue d'ensemble sur l'état des connaissances acquises au cours de cette étude.

Contrairement à l'opinion la plus répandue jusqu'ici, la lumière des cinq premières planètes possède une polarisation mesurable que l'on peut reconnaître, la plupart du temps, au moins en certains points, avec un simple polariscope de Savart.

Vers le centre de la planète, la lumière est polarisée par simple diffusion, toujours dans un plan soit parallèle, soit normal au plan passant par le Soleil. La proportion de lumière polarisée dépend principalement de l'angle des rayons solaires incidents et de la direction d'observation. Elle est nulle lors d'une opposition exacte.

La loi qui relie ces deux quantités caractérise la nature du sol, des nuages ou de l'atmosphère de chaque planète et permet souvent d'en déterminer la constitution, par comparaison avec des substances terrestres.

Parfois, cette loi est très régulière et reste identique à elle-même d'une année sur l'autre, indice que l'état physique de la planète ne s'est pas modifié. Parfois, au contraire, la polarisation est altérée momentanément et révèle, en général, une perturbation étendue de son atmosphère.

Dans certains cas, lorsque la planète et la Terre reprennent les mêmes positions relatives, la proportion de lumière polarisée passe par des valeurs un peu différentes, ce qui révèle, en général, des modifications progressives dans son atmosphère.

La proportion de lumière polarisée varie d'un point à l'autre de chaque planète :

Près des bords, certaines régions présentent une polarisation dans un plan oblique par rapport à la direction du Soleil et qui ne semble pas s'annuler aux

oppositions exactes. Cet effet est attribuable, en partie, tantôt à une réfraction des rayons diffusés par le sol, tantôt à des diffusions multiples au sein d'une atmosphère.

En certains points, la polarisation subit des déviations dont la cause nous est encore inconnue.

RÉSULTATS NOUVEAUX

Les recherches exposées dans cet ouvrage ont apporté un certain nombre de documents nouveaux dont voici les principaux :

1^o La connaissance précise de courbes particulières à chaque planète, reliant la polarisation générale de sa lumière à l'angle des rayons solaires incidents avec la direction d'observation.

2^o L'existence, sur la Lune et sur Mars, d'une polarisation perpendiculaire au plan passant par le Soleil vers l'opposition et s'annulant pour un angle voisin de 24°, pour lui devenir ensuite parallèle.

3^o La propriété analogue, commune à la plupart des corps solides absorbants, de diffuser, dans les directions voisines de la source éclairante, une lumière polarisée perpendiculairement au plan passant par les rayons incidents ; lorsque l'observateur s'écarte de la source, la polarisation passe par un maximum, s'annule et reparaît dans un plan perpendiculaire.

4^o La similitude remarquable de la Lune et des planètes Mars et Mercure.

5^o La reproduction, en laboratoire, au moyen d'un mélange de cendres volcaniques, d'une substance donnant les mêmes polarisations que la Lune, Mars et Mercure.

6^o L'influence considérable, sur la polarisation de Mars, de brumes qui échappent parfois à la simple observation.

7^o Le très faible pouvoir diffusant de l'atmosphère de Mars et, plus particulièrement, de celle de Mercure.

8^o Des données précises sur la polarisation des nuages de gouttelettes d'eau de divers diamètres, montrant qu'un nuage épais de très fines gouttelettes doit donner des polarisations très voisines de celles de Vénus.

9^o Les déviations égales et de sens inverse du plan de polarisation de Vénus, sur les cornes.

10^o L'influence de la chaleur solaire sur l'état atmosphérique de Jupiter, qui se manifeste par une différence des deux bords, toujours de même sens.

11^o La découverte, sur les calottes polaires de Jupiter et de Saturne, d'une polarisation particulière, à peu près indépendante des positions de ces planètes par rapport au Soleil et, vraisemblablement, d'origine atmosphérique.

12° La constance de ce phénomène sur Jupiter et ses grandes variations sur Saturne.

13° La différence de constitution des deux anneaux brillants de Saturne, séparés par la division de Cassini ; l'anneau intérieur présentant des caractéristiques voisines de celles des roches terrestres les plus communes, l'anneau extérieur étant, au contraire, le siège de phénomènes encore inexpliqués.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

La Spectroscopie des Planètes.

Vu et approuvé :

Paris, le 26 janvier 1929.

POUR LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,

L'Assesseur,

J. PERRIN.

Vu et permis d'imprimer :

POUR LE RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,

L'Inspecteur d'Académie,

A. THYBAUD.

